

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

**Návrh odjehlovacího pracoviště pro výrobu hydraulických kostek
se zaměřením na racionalizaci odjehlování a kontrolu otvorů**

**Design of Deburring Workplace for Hydraulic Blocks manufacture
Focused on Deburring Rationalization and Slots Control**

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Marek Sadílek, Ph.D.

Student:

Bc. Aleš Hanák

Ostrava 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Aleš Hanák**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie

Téma: Návrh odjehlovacího pracoviště pro výrobu hydraulických kostek se zaměřením na racionalizaci odjehlování a kontrolu otvorů
Design of Deburring Workplace for Hydraulic Blocks Manufacture
Focused on Deburring Rationalization and Slots Control

Zásady pro vypracování:

1. Přehled současného stavu odjehlování.
2. Zhodnocení metod elektrochemického odstraňování otřepů a termického odstraňování otřepů.
3. Návrh odjehlovacího pracoviště.
4. Technicko-ekonomický přínos navrhovaného řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] SADÍLEK, M. *Nekonvenční metody obrábění I*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2009. 146 s. ISBN 978-80-248-2107-8.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : Ediční středisko VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. 256 s. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [3] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [4] MAŇKOVÁ, I. *Progresívne technológie*. Košice : Technická univerzita Košice, Viena, 2000. ISBN 80-7099-430-4.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Marek Sadílek, Ph.D.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012



doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem použité podklady a literaturu.

V Ostravě *A. Kořán*

..... *Aleš Hanák*

Aleš Hanák

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo

- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3)

- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB - TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce

- souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v záznamu o závěrečné práci, umístěn v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny i informačním systémem VŠB – TUO

- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona

- bylo sjednáno, že užít své dílo- bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na náhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě
Aleš Hanák
Aleš Hanák
Volgogradská 95
700 30 Ostrava – Zábřeh

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Hanák, A. Návrh odjehlovacího pracoviště pro výrobu hydraulických kostek se zaměřením na racionalizaci odjehlování a kontrolu otvorů. Ostrava: katedra obrábění a montáže 346, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2011, 100s. Diplomová práce, vedoucí: Sadílek, M.

Tato diplomová práce se zabývá návrhem odjehlovacího pracoviště pro výrobu hydraulických kostek se zaměřením na racionalizaci odjehlování a kontrolu otvorů. V její úvodní části je uveden přehled současného stavu odjehlování, popis a rozbor dvou nekonvenčních metod odjehlování. V další části je proveden rozbor stávající technologie výroby. Na základě podkladů současné technologie výroby byl navržen vhodný odjehlovací stroj a příslušenství a byl navržen nový technologický postup. V závěru práce je navrhovaná technologie výroby porovnávána se stávající technologií výroby.

ANNOTATION OF A MASTER THESIS

HANÁK,A. Design of Deburring Workplace for Hydraulic Blocks Manufacture Focused of Deburring Rationalization and Slots Control. Ostrava: Department of Cutting and Assemblage 346, Engineering college VŠB – Technical University of Ostrava, 2012, 56 p. Thesis head, tutor: Sadílek, M.

This thesis deals with designing of deburring workplace for hydraulic blocks manufacture focused on deburring rationalization and slots control. In the first section is state survey current data deburring, description and analysis two unconventional method deburring. In the next section is an analyssis of existing technology. On the basis existing technology production was proposition acceptable deburring machine and equipment. In conclusion is the proposed technology production compared with existing technology production.

Obsah diplomové práce

Seznam použitých symbolů	8
1. Úvod.....	9
2. Přehled současného stavu odjehlování.....	10
2.1. Nářadí na odjehlování	10
3. Nekonenční metody odjehlování [].....	11
3.1. Elektrochemické obrábění [2].....	12
3.1.1. Princip elektrochemického úběru materiálu [2].....	13
3.1.2. Elektrolyt a jeho funkce [2]	16
3.1.3. Vliv materiálu obrobku na úběru [2]	20
3.1.4. Zařízení a nástroje pro ECM obrábění [2]	21
3.1.5. Vlastnosti opracovaného povrchu [2]	24
3.1.6. Oblasti použití elektrochemického obrábění [2].....	25
3.2. Termické odstraňování otřepů [2].....	26
3.2.1. Princip termického odjehlení [1]	26
3.2.2. Předepisování na výkresech [4]	28
3.2.3. Zápalná směs kyslíku s plynem [4].....	28
3.2.4. Hrany obrobku jsou zpevněny [4].....	28
3.2.5. Materiály schopné oxidace [4].....	29
3.2.6. Vyloučení lidského faktoru [4]	29
3.2.7. Čištění a konzervace [4].....	29
3.2.8. Pro jaké výrobky je TEM vhodná [3]	29
3.2.9. Použití v průmyslu [4]	31
4. Rozbor současného stavu odjehlování	31
4.1. Popis vyráběné součásti	32
4.2. Charakteristika materiálu součásti	33
4.3. Výrobní stroje stávající technologie	34
4.4. Výrobní nástroje stávající technologie.....	37
4.5. Stávající technologický postup	40
5. Návrh nové technologie odjehlování a pracoviště	41
5.1. Volba stroje pro novou technologii výroby	41
5.2. Volba příslušenství pro novou technologii výrobu	43
5.3. Volba pomůcek pro kontrolu průniků.....	44
5.4. Popis nové technologie výroby	45
5.5. Návrh pracoviště	45
5.6. Pracovní síly a směnnost pracoviště	45
5.7. Celková potřeba pracovníků	46
5.8. Výpočet kapacit	46
5.9. Výpočet spotřeby plynů	47
5.10. Cenová náročnost zařízení	47
5.11. Cenová náročnost použitého příslušenství.....	47
5.12. Cenová náročnost pravidelné údržby	47
5.13. Bezpečnostní předpisy	48
6. Technicko- ekonomické zhodnocení	49
6.1. Náklady na odjehlení u stávající technologie	49
6.2. Náklady na výrobu u nové technologie	50
6.3. Alternativní řešení.....	50
6.4. Závěry vyplývající z technicko- ekonomického zhodnocení.....	51
7. Závěr	51
Přílohy.....	53

8. Použitá literatura	54
-----------------------------	----

Seznam použitých symbolů a zkratek

Al	Hliník	[-]
ap	Hloubka řezu	[mm]
CD	Capillary drilling	[-]
CVD	Chemical vapour deposit	[-]
ECAM	Electrochemical arc machining	[-]
ECG	Electrochemical grinding	[-]
ECDM	Electrochemical discharge machining	[-]
ECM	Elektrochemické obrábění	[-]
ECSM	Electrochemical spark machining	[-]
Fe	Železo	[-]
fz	Posuv na zub	[mm]
GAP	Mezera mezi elektrodami	[-]
γ	Měrná elektrická vodivost	$[\Omega^{-1} \cdot cm^{-1}]$
NaCl	Chlorid sodný	[-]
NaNO ₃	Dusičnan sodný	[-]
Ni	Nikl	[-]
Pb	Olovo	[-]
pH	Kyselost nebo zásaditost	[-]
Pt	Platina	[-]
PVD	Physical vapour deposit	[-]
Se	Selen	[-]
STEM	Shaped tube electrolytic machining	[-]
Ta	Tantal	[-]
TEM	Termické odjehlení	[-]
Ti	Titan	[-]
Vc	Řezná rychlost	[m/min]

1. Úvod

Diplomová práce se zabývá problematikou odjehlování hydraulických kostek a návrhem pracoviště odjehlování produktivnější metodou. Při odjehlování hydraulických kostek má rozhodující význam 100% odjehlení průniků otvorů. Prioritou v současné době je zkracování výrobních časů se zvyšující se kvalitou výrobků. Na celkový výrobní čas mají největší vliv řezné podmínky a nové technologie, jejichž uvedením do provozu dosáhneme zkrácením tohoto času. K tomu je potřeba přizpůsobit volbu strojů, nástrojů a příslušenství tak, aby byly splněny hlavní požadavky na jakost výrobku.

Hlavním cílem diplomové práce je navrhnout novou, vhodnější technologii a pracoviště odjehlování. Na základě zhodnocení stávajícího technologického postupu výroby navrhnout a zpracovat technologii odjehlování včetně návrhu pracoviště pro danou součást. Tento návrh pak porovnat se současnou technologií výroby a provést technicko-ekonomické zhodnocení navržené technologie výroby.

Tento cíl bude v diplomové práci splněn na základě realizace následujících úkolů:

- přehled současného stavu odjehlování
- rozbor nekonvenčních metod odjehlování
- rozbor současného stavu technologie výroby
- navrhnout pracoviště odjehlování
- pro navrhovanou technologii zpracovat nový technologický postup výroby
- zpracování technicko-ekonomického zhodnocení

2. Přehled současného stavu odjehlování [5, 6, 7, 8]

Odstraňování otřepů otvorů i jejich hran se strojně provádí již více než třicet let, ale nikdy není první věcí, na kterou firmy myslí při snaze o zkvalitnění jejich obrobků. Odstraňování otřepů je v mnoha případech vnímáno jako druhořadá operace či jako „něco“, co je potřeba udělat po finálním opracování obrobku. Začlenění odjehlování mezi ostatní operace v technologickém postupu výroby obrobku jako rovnocenné obráběcí operace je možné právě díky strojním nástrojům na odstraňování otřepů. Při vrtání všech otvorů vznikají otřepy. Ať už z funkčního hlediska či z hlediska vzhledu obrobku, bývají proto přední i zadní strany otvorů těchto otřepů zbavovány. Ve většině případů se otřepy odstraňují ručně, neboť při strojním odstraňování otřepů je nutné obrobek otáčet, což je z technologického hlediska velice náročné na čas obsluhy i manipulaci s obrobkem. Většinu nákladů na zbytečnou manipulaci a čas obsluhy stroje lze minimalizovat používáním odjehlovacích nástrojů, které jsou samozřejmě schopny odstranit otřepy na přední i zadní straně otvorů v jedné operaci. []

2.1. Nářadí na odjehlování



Obr. 2.1 Otočný škrabák NOGA3 NG1003 [9]



Obr. 2.2 Ukázka použití otočného škrabáku NOGA3 NG1003 []



Obr. 2.3 Technická fréza s kuželem 60° [10]



Obr. 2.4 Technická fréza s kuželem 90° [10]



Obr. 2.5 Pneumatická bruska k upnutí technické frézy [11]

3. Nekonenční metody odjehlování

Rostoucí požadavky na automatizaci a mechanizaci strojírenských procesů do značné míry ovlivňují vývoj nových zařízení, procesů a technologií v oblasti obrábění. Nekonenční technologie obrábění jsou dnes oborem, který z hlediska nabízených kvalitativních parametrů hraje důležitou roli v ochraně součástí před účinky koroze. Předností oboru je rovněž zvýšená odolnost proti opotřebení, což má zásadní vliv na životnost součástí a dobrý estetický dojem při pohledu na konečný vzhled povrchové úpravy. Hlavní snahou je stále zvyšování technicko – ekonomické úrovně strojírenské výroby, což vede i k širšímu využívání technologie povrchových úprav. Elektrolytické vylučování kovů patří k pokovovacím technologiím, které na rozdíl od většiny renovačních metod neovlivňují strukturu podkladového materiálu. Existuje mnoho používaných postupů, jak docílit změny povrchových vlastností například návary, cementací, nitridací. Technicky náročnější PVD (*physical vapour deposition*), CVD (*chemical vapour deposition*) vyžadují náročnější technologické vybavení. Galvanické vylučování kovů je levná metoda, neboť nákladnější položkou je pouze zdroj stejnosměrného, případně modifikovaného proudu, přínosy této metody spočívají právě v nízkých nákladech, oproti konkurenčním metodám. Vesměs všechny galvanické procesy pracují do teploty 100 °C, nejčastěji 50 - 60 °C. Navíc lze vrstvy vylučovat ve značných tloušťkách s nízkou pórovitostí. Galvanotechnika patří mezi samostatné vědní obory zabývající se vylučováním tenké vrstvy kovů na povrchu kovové součásti. Nejčastěji pokovovanými materiály jsou oceli, mosazi, slitiny zinku apod. Zásadními faktory pro volbu galvanického povlaku jsou fyzikální, mechanické a chemické vlastnosti galvanicky vylučovaných kovů a slitin. Významného ovlivnění charakteristických fyzikálních a chemických vlastností galvanických povlaků můžeme docílit vhodnou úpravou podmínek galvanického procesu. Současným nanášením dvou nebo více kovů tak, aby vznikly slitiny, nebo postupným nanášením vrstev různých kovů, z nichž se mohou, ale nemusí pozdějším

tepelným zpracováním vytvářet slitiny, lze získat povlaky speciálních vlastností. U strojírenských výrobků, na které jsou kladeny funkční nároky, jsou kontrolovány mechanické vlastnosti povlakového systému. Při studiu mechanismu procesů degradace pak vlastnosti fyzikálně chemického charakteru. Povlakový systém je v těchto případech navrhován tak, aby zabezpečoval splnění vybraných funkčních požadavků (např. zvýšení odolnosti proti oděru, snížení tření, možnost obnovení opotřebovaných dílů apod.). Většinou musí povlak splňovat nejen funkční, ale i ochranné vlastnosti. Mnohdy je vyžadováno i současné zajištění dekorativního efektu povrchové úpravy. Do souboru hodnocených funkčních vlastností povrchu jsou obvykle zařazena stanovení:

- kritických vlastností povrchu před vytvořením povlaku (čistota, stupeň odmaštění)
- funkčních vlastností vytvořeného povlaku.

Výběr hodnocených funkčních vlastností a závažnost jejich kontroly je určena využitím výrobku. Kontrola funkčních vlastností povlaku má specifický charakter. U kovů se mechanické vlastnosti povlakových systémů mnohdy liší od údajů udávaných pro jednotlivé kovy v kompaktní formě, zpravidla hutnicky zpracované. Příčina rozdílu spočívá v odlišné struktuře a mechanickém složení kovových povlaků. Nelze proto přebírat tabelované údaje a předpokládat identitu vlastností bez kontrolních měření. Pro jednotlivé, funkční vlastnosti povrchu před i po úpravě jsou uvedeny přehledné vybrané měřicí metodiky, případně doporučeny přístrojové systémy. Ne všechny z uvedených kontrolních metod jsou kvantitativní. Řada způsobů, především některé z provozních, jednoduchých zkoušek, které jsou určeny pro zjištění rychlé informace o stavu procesu, jsou kvalitativního charakteru. Závěry u těchto zkoušek je pak možné uvažovat mnohdy pouze v rámci daného kontrolního postupu.

3.1. Elektrochemické obrábění [2]

Elektrochemické obrábění (ECM) je proces, při kterém se úběr materiálu dosahuje pomocí elektrochemického rozpuštění anodicky polarizovaného obrobku. Základu procesu je elektrolýza, kterou teoreticky zpracoval Faraday v roce 1834. Známé Faradayovy zákony, teorie elektrolytů, elektrická polarizace a termodynamika galvanických článků tvoří základy pro technologii elektrochemického obrábění. První patent na elektrochemické obrábění podal v roce 1929 Gusjev. Širší zájem a vývoj zařízení začal okolo roku 1950 pro potřeby tvarování vysokopevnostních a žáruvzdorných slitin. V současnosti patří ECM obrábění mezi běžné progresivní metody opracování těžkoobrobitelných materiálů a předmětů složitých tvarů. Je to bezsilové opracování, při kterém nevznikají napětí pod obrobeným povrchem a opracovaný povrch je bez otřepů.

Používá se především:

- v automobilovém průmyslu
- při výrobě přístrojů, implantátů a protéz
- v leteckém průmyslu při výrobě lopatek turbín motorů
- při výrobě tvářecích nástrojů
- u speciální výroby

V porovnání s chemickými postupy úběru materiálu mají elektrolytické metody daleko větší úběry, větší přesnost tvarů a rozměrů. Kromě základní technologie elektrochemického obrábění se využívají různé modifikace tohoto procesu, které byly vyvinuté jako speciální postupy výroby a to:

- Elektrochemické broušení (ECG- Electrochemical Grinding)
- Elektrochemické obrábění tvarovou trubicou (STEM- Shaped Tube Electrolytic Machining)
- Elektrolytické vrtání proudem elektrolytu (ES- Electrostream Drilling, CD- Capillary Drilling)
- Kombinované metody elektrochemického a elektroerozivního úběru materiálu (ECAM- Electrochemical Arc Machining), (ECDM- Electrochemical Discharge Machining) (ECSM- Electrochemical Spark Machining)

Z technologického hlediska se princip elektrochemického úběru používá pro:

- Elektrochemické hloubení tvarů a otvorů (1)
- Elektrochemické dělení materiálu (2)
- Elektrochemické odstraňování otřepů (3)
- Elektrochemické leštění (4)
- Elektrochemické značení (5)

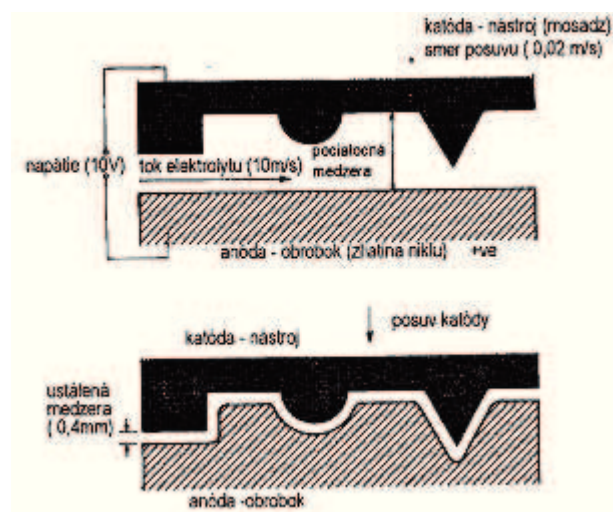
Metody 1 až 3 jsou označovány za ECM obrábění s nuceným odstraňováním produktu elektrochemické reakce nebo obrábění proudícím elektrolytem. Procesy 4 a 5 patří k povrchovému elektrochemickému obrábění bez odstraňování produktu reakce během procesu.

3.1.1. Princip elektrochemického úběru materiálu [2]

Elektrochemické obrábění je řízený lokalizovaný úběr materiálu jeho anodickým rozpouštěním v elektrolytu, kde obrobek je anoda a nástroj je katoda, jejíž tvar se kopíruje na obráběnou plochu. Elektrolyt protéká v mezeře (GAP) mezi elektrodami (nástroj a obrobek) zapojenými do obvodu jednosměrného napětí. Princip úběru materiálu- anodické

rozpuštění materiálu- nastává během elektrolýzy. ECM proces se často vysvětluje jako obrácený proces galvanického pokovování, kde předmět (obrobek) ponořený do elektrolytu je zapojený na anodu. Charakteristickými znaky ECM obrábění je vysoká hodnota proudové hustoty, která může být dosahovat až 500 A/cm^2 , což je 1000 krát víc než se používá při galvanizaci (elektrolytické nanášení povlaků), relativní posuv elektrody, malá mezielektrodová vzdálenost (GAP) poměrně vysoká rychlost proudění elektrolytu a často používaný tvar elektrod.

Základní pracovní princip ECM obrábění znázorňuje Obr. 2.1.



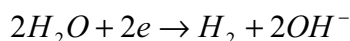
Obr. 2.1 Základní princip elektrochemického obrábění a vazba nástroj- obrobek [2]

Elektrolýza, jako základní jev elektrochemického obrábění je chemický proces rozkladu elektrolytu působením elektrického proudu, který přechází mezi dvěma kovovými elektrodami. Průběh elektrolýzy kvantitativně popisují Faradayovy elektrolytické zákony. Na katodě probíhá děj chemické redukce (vyučuje se vodík) a na anodě probíhá oxidační děj (vyučují se elektronegativní složky). Na obr. 2.1 je znázorněn elektrochemický děj. Je potřebné poznamenat, že elektrolýza patří k dějům, které probíhají na atomární úrovni. Přenos elektrického náboje je pohybem iontů a elektronů. Katoda, záporně nabitá elektroda, přivádí proud do elektrolytu ve formě elektronů. V elektrolytu přenášení elektrický náboj ionty a z anody je odevzdaný opět elektrony. Katoda přijímá elektrony a z anody se elektrody uvolňují. Z chemického hlediska na katodě probíhají redukční děje a na anodě dochází k oxidaci iontů nebo molekul. Tyto děje (redukce a oxidace) nemůžou probíhat izolovaně, ale probíhají současně, jako tzv. primární děje. Sekundární děje vznikají jak jsou produkty primárních dějů nestálé. Sekundární děje vytvářejí odpadové produkty elektrolýzy. Jako příklad je rozpouštění železa ve vodě.

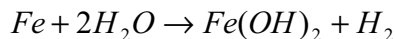
Děj na anodě je vyjádřený anodickým rozpouštěním železa:



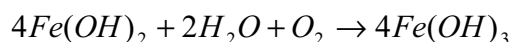
Na katodě dochází k tvorbě vodíku a hydroxidů iontů:



Výsledkem těchto elektrochemických reakcí je, že železo v reakci s vodou vytváří hydroxid železnatý podle reakce:



Jako sekundární děj probíhá reakce hydroxidu železnatého s vodou a vytváří se těžkorozpustný hydroxid železitý ve formě kalu, který se usazuje na dně nádrže. Tato reakce není částí elektrolýzy:



Jak již bylo uvedeno výše, elektrochemické děje se řídí Faradayovými zákony. Základní teoretický vztah, který určuje produktivitu elektrochemického obrábění je vyjádřený rovnicí:

$$V = q_C \cdot I \cdot t \quad (\text{rovnice 2.1})$$

kde q_C je elektrochemický ekvivalent ($g / A \cdot s$) jako množství látky v (g), které se vyloučí proudem 1A za jednotku času (s). Elektrochemický ekvivalent závisí na druhu materiálu. I je proud (A) protékajícím obvodem, t je čas (s) procesu. Tab. 2.1 uvádí hodnoty elektrochemického ekvivalentu pro vybrané kovové materiály. Elektrochemický ekvivalent je proměnlivý parametr a mění se dokonce i s mocenstvím kovu ve sloučenině. Z toho vyplývá potom i nerovnoměrná rychlost rozpouštění jednotlivých složek kovových konstrukčních materiálů. Z rovnice (2.1) vyplývá, že úběr materiálu je úměrný intenzitě proudu a času. Velikost proudu je hodnota, kterou se při ECM obrábění může zvyšovat výkon. Rovnice (2.2) platí pro elektrochemicky úběr čistých kovů. Při opracování slitin sestávajících se ze dvou nebo více složek, celková produktivita je dána součtem elektrochemických ekvivalentů jednotlivých složek, kde z je počet složek:

$$V_M = I \cdot t \cdot \sum_{i=1}^{i=z} q_{Ci} \quad (2.2)$$

Tab. 2.1 Elektrochemický ekvivalent vybraných kovů v závislosti na jejich mocenství ve slitinách [2]

Materiál	Herná hmotnost [g/cm ³]	Mocenstvo	Elektrochemický ekvivalent [g/A.s]
hliník	2,71	Al ³⁺	0,093 · 10 ⁻³
wolfrám	19,2	W ⁵⁺	0,380 · 10 ⁻³
		W ⁶⁺	0,316 · 10 ⁻³
železo	7,86	Fe ²⁺	0,289 · 10 ⁻³
		Fe ³⁺	0,193 · 10 ⁻³
kobalt	8,86	Co ²⁺	0,305 · 10 ⁻³
		Co ³⁺	0,203 · 10 ⁻³
chróm	7,16	Cr ³⁺	0,179 · 10 ⁻³
		Cr ⁶⁺	0,090 · 10 ⁻³
titán	4,50	Ti ⁴⁺	0,123 · 10 ⁻³

Úběr materiálu se při ECM obrábění řídí Faradayovými zákony a je funkcí proudové hustoty. Proměnné, které ovlivňují proudovou hustotu a tím i úběr materiálu jsou:

- pracovní napětí (5 až 30 V jednosměrného napětí)
- mezera (GAP) mezi nástrojem a obrobkem
- rychlost posuvu elektrody (okolo 0,02 mm/s)
- vodivost resp. odpor a složení elektrolytu (měrná vodivost okolo 0,2 $\Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$)
- rychlost proudění elektrolytu (3 až 30 m/s)
- materiál obrobku

Pracovní napětí je základní veličinou ovlivňující pracovní proces a konečný výsledek obrábění. Jeho minimální hodnota musí zabezpečit, aby elektrolytem začal procházet trvalý proud. Hodnoty pracovního napětí se pohybují v rozmezí 5 až 30 V. Šířka mezery mezi nástrojem a obrobkem závisí na rychlosti posuvu nástroje směrem do materiálu, tedy i na rychlosti rozpouštění materiálu v závislosti na proudové hustotě. Výsledný tvar obrobku je závislý na velikosti mezery a způsobu její kontroly. Při konstantním posuvu nástroje se zmenšující se rychlosti úběru materiálu dochází ke zmenšování pracovní mezery a tím také ke zkratu. Velikost mezery a její dodržování během procesu je jeden z nejdůležitějších parametrů ECM strojů. Velikost mezery je přímo úměrná napětí a nepřímo úměrná posuvu elektrody a odporu elektrolytu. Pokud by uvedené parametry zůstali během procesu konstantní, zachovala by se rovnoměrná mezera mezi nástrojem a obrobkem a výsledkem opracování by byla úplná shoda vyrobeného tvaru s tvarem nástroje. Tyto podmínky jsou ideální a jsou náročné na dodržování. Odpor resp. vodivost elektrolytu je nejméně stabilním parametrem v této konfiguraci, protože se během procesu mění vlivem teploty a vznikajících plynů. Dokud plyny při proudění elektrolytu zvyšují jeho odpor, vznikající teplo ho redukuje.

3.1.2. Elektrolyt a jeho funkce [2]

Elektrolyt má tři důležité funkce v pracovním prostoru:

- zajišťuje vedení elektrického proudu

- odplavuje zplodiny elektrochemické reakce
- odvádí vzniklé teplo

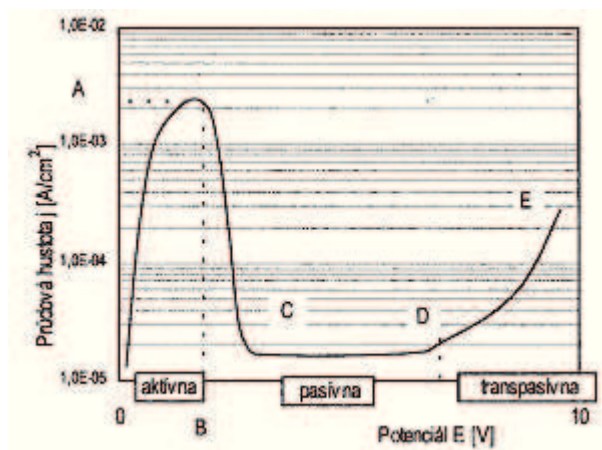
Správná volba elektrolytu je základní ukazatelem optimalizace procesu. Volba elektrolytu musí zohledňovat maximální úběr materiálu z anody (obrobku), předepsanou kvalitu opracovaného povrchu a další faktory jako je cena elektrolytu, náklady na likvidaci chemikálií a bezpečnost práce. Základním požadavkem na elektrolyt je jeho agresivita vůči chemickému složení obráběného materiálu tak, aby elektrolyt umožňoval rozpouštět všechny komponenty kovové slitiny. Elektrolyty mohou být kyseliny, zásady nebo solné roztoky. Nejpoužívanější elektrolyty znázorňuje tab. 2.2. Nejčastěji se používají vodné roztoky NaCl a NaNO_3 . Roztok chloridu sodného (NaCl) zabezpečuje větší úběr než roztok dusičnanu sodného (NaNO_3), ale zároveň se dosahuje menší přesnosti a větší zaoblení hran. NaCl je více korozně agresivní a vytváří více nečistot ve formě kalu. Pro kovy jako je wolfram a čistý titan roztok NaCl není vhodný. Roztok NaNO_3 je méně korozně agresivní, ale je dražší a lehce způsobuje pasivitu na některých kovových površích.

Tab. 2.2 Elektrolyty používané při elektrochemickém obrábění a jejich kvalitativní hodnocení [2]

Druh elektrolytu	Koncentrace [%] (hmotnostný poměr vo vodnom roztoku)	Obráběný materiál	Kvalitatívne hodnotenie
NaCl chlorid sodný	5 ÷ 20	legované a nelegované oceľe, zliatiny niklu, kobaltu	nejedovatý, lacný, silný korózný účinok, malý pasivačný účinok
NaClO_3 chlorečnan sodný	20 ÷ 45	oceľe, nástrojové oceľe	dobrá kvalita povrchu, veľké úbery, nebezpečná manipulácia sklon k vznieteniu
NaNO_3 dusičnan sodný	10 ÷ 20	legované a nelegované oceľe, zliatiny niklu kobaltu, hliníka, meď a zinku	sklon k pasivácii u oceľi, univerzálne použitie, nedráždi pokožku, udržuje hodnotu pH,
NaNO_2 dusiťan sodný	do 12	zliatiny meďi	jedovatý, len pre špeciálne účely
Na_2SO_4 síran sodný	10	zliatiny meďi	len pre špeciálne účely
HCl kyselina chlorovodíková H_2SO_4 kyselina sírová	do 10	pre špeciálne účely zliatiny niklu, chrómu a kobaltu	spotreba elektrolytu, netvorí nerozpustné hydroxidy, veľmi jemné povrchy, náročné na bezpečnosť manipuláciu, žieravina
NaOH hydroxid sodný	do 10	wolfrám a molybdén	žieravina, neprijemná manipulácia

Roztoky kyselin se používají méně, protože se rychleji znehodnocují a je nutné je často měnit nebo regenerovat. Například v roztoku kyseliny sírové se při obrábění oceli tvoří rozpustné sírany železa a ubývá kyselina sírová. Snahou při volbě elektrolytu pro

průmyslové použití je, aby sekundární reakce tvořily těžkorozpustné sloučeniny, které se usazují na dně nádrže a snáze se při čištění odstraňují. Ukazatelem vhodnosti elektrolytu je jeho měrná elektrická vodivost $\gamma(\Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1})$, která je ovlivněná jeho hustotou, kyselostí pH, teplotou a čistotou. Hustota elektrolytu se může při základní teplotě 20° pohybovat, podle jeho druhu a materiálu obrobku, v rozmezí 10 až 20 %. Provozní teplota elektrolytu je vyšší a pohybuje se v rozmezí 35 až 50 °C. Efektivní vodivost elektrolytu závisí na jeho teplotě, čistotě a obsahu vodíku (vzniká na katodě). Pro přesné obrábění je nevyhnutelná kontrola vodivosti, protože vodivost je základním faktorem ovlivňujícím velikost úběru, tvarovou a rozměrovou přesnost a případně i vznik zkratu mezi nástrojem a obrobkem. Měrná elektrická vodivost elektrolytu ovlivňuje intenzitu a stabilitu elektrochemického rozpouštění kovu anody. Čím vyšší je měrná elektrická vodivost elektrolytu γ , tím rychlejší je úběr. Je však důležité udržovat její velikost na konstantní hodnotě, aby nedocházelo k rozdílnému rozpouštění na různých místech povrchu vlivem změny vodivosti a tím ke vzniku zkratu. Měrná elektrická vodivost γ je závislá na druhu elektrolytu, jeho koncentraci, teplotě a stupni nasycenosti plynem. V průběhu elektrochemického obrábění se mění kyselost elektrolytu, hodnota pH roste poměrně rychle a může dosahovat hodnoty pH 10 až 11. K tomuto jevu dochází vlivem rozkladu vody při elektrolýze, uvolňováním iontů vodíku na katodě se hromadí v elektrolytu hydroxilové skupiny OH. Zvyšování pH ovlivňuje proces anodického rozpouštění kovu tím, že zvyšuje sklon k pasivaci kovů, zejména železa, niklu a jejich slitin. Jako uvádí Vágner, při zvyšování pH elektrolytu ze 6,3 na 10,5 až 11 se účinnost anodického rozpouštění kovu snižuje o 18 až 20 %. Stabilizace elektrolytu přidáním kyseliny dusičné upravuje pH na hodnotu 6 až 8, což umožňuje při elektrolýze podstatně zvýšit účinnost rozpouštění kovu a prodloužit životnost elektrolytu. Intenzita rozpouštění kovu a úběr jsou závislé na proudové hustotě. Zvyšování proudové hustoty je však omezené sekundárními jevy, ke kterým při elektrochemických dějích dochází. Je to tzv. pasivace, která zabraňuje dalšímu rozpouštění kovu a proto je při elektrochemické obrábění nežádoucím jevem. Jevy pasivace jsou známé a jejich vysvětlení vychází z polarizační křivky uvedené na obr. 2.2.



Obr. 2.2 Polarizační křivka závislosti proudové hustoty na potenciálu [2]

A – kritická pasivační proudová hustota

B – pasivační potenciál

A – B – aktivní oblast

B – D – oblast pasivace

D – transpasivační potenciál

D – E – transpasivní oblast

Přechod elektrického proudu mezi dvěma elektrodami vytváří potenciální spád. Rostoucí proudovou hustotou roste rozpouštění kovu na anodě, anodická proudová hustota se v aktivní oblasti zvyšuje až do jisté maximální hodnoty, tj. do kritické pasivační proudové hustoty, obr. 2.2. Dalším zvyšováním potenciálu proudová hustota klesá a při překročení pasivačního potenciálu přechází kov do pasivačního stavu. V pasivačním stavu je anodický děj zpravidla velmi zpomalený v porovnání s maximální rychlostí v aktivním stavu. Maximální rychlost, kterou můžeme obrábět při ECM je tedy omezená kritickou pasivační proudovou hustotou, charakteristickou pro daný kov a dané prostředí (elektrolyt). Pasivační vrstva, která se vytvoří na obráběném povrchu při překročení pasivační proudové hustoty, má některé charakteristické vlastnosti, které závisí především na elektrické vodivosti této vrstvy. Vrstvy oxidů některých kovů (např. Fe, Ni, Pt, Pb) mají dobrou elektrickou vodivost, takže při své malé tloušťce mají jen malý elektrický odpor. Pasivní vrstvy na jiných kovech (např. Al, Ti, Ta, Se) a vrstvy jiné než vrstvy oxidů jsou málo vodivé nebo dokonale izolační. Vliv na pasivaci mají elektrolyty, které mohou mít při elektrochemickém rozpouštění účinek pasivační, když je proudová účinnost nižší než 100% (např. NaNO_3) nebo nepasivační, při téměř 100% - největší účinnost úběru (např. NaCl). Protože při rozpouštění probíhá více reakcí současně, je potřebné volbu elektrolytu a jeho složení zvážit, jako základní a velmi důležitou otázku. Vznik pasivační vrstvy je dále ovlivněn rychlostí proudění elektrolytu a tedy schopností odstranit rozpouštěný kov. Při staticky probíhajícím procesu je možné použít maximální proudovou hustotu 0,2 až 0,5 A/cm^2 , při ní se ještě netvoří pasivační vrstva (např.

při elektrochemickém leštění, elektrochemickém odstraňování otřepů). V procesech s prouděním elektrolytu se ionizované částice kovu anody odplavují a tím se zamezí vzniku pasivační vrstvy na povrchu anody (obrobku). Rychlost proudění elektrolytu se volí až do 30 m/s a tomu odpovídá hustota proudu 100 až 230 A/cm² případně až 1000 A/cm². Elektrolyt je potřebné během procesu čistit. Čištění se zabezpečuje usazováním, filtrací nebo odstředivým čištěním. Plynulé čištění elektrolytu během procesu umožňuje použití menší nádrže na elektrolyt a jeho méně častou výměnu. Nejlépe se čistí pomocí speciálních látek způsobujících koagulaci (shlukování) usazeniny. Tím se urychlí doba čištění. Rychle, ale méně dokonalé je čištění speciálními odstředivkami zapojenými do pracovního okruhu stroje. Znečištění elektrolytu se vyjadřuje poměrem hmotnosti nečistot k hmotnosti roztoku. Znečištění elektrolytu ovlivňuje úběr a drsnost opracované plochy tím, že zmenšuje elektrickou vodivost elektrolytu.

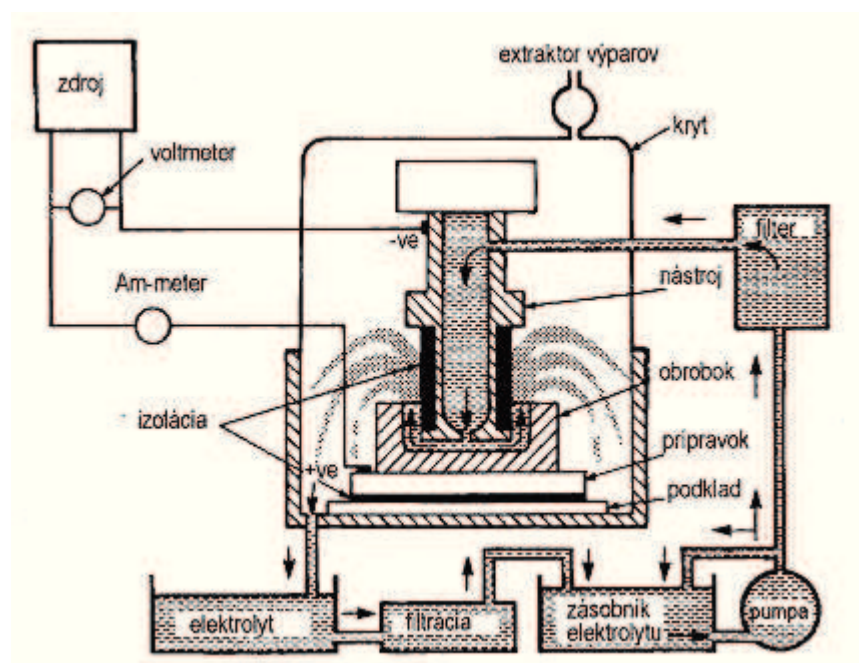
3.1.3. Vliv materiálu obrobku na úběru [2]

Složení obráběného materiálu vyžaduje pečlivou volbu elektrolytu, protože různé kovy a jednotlivé složky slitin mají různou chemickou aktivitu a jejich schopnost pasivace závisí na složení elektrolytu, selektivní schopnosti elektrolytu a stupni jeho chemické aktivity vůči materiálu obrobku. Podle Faradayova zákona určuje elektrochemický ekvivalent každého kovu spolu s proudovou hustotou a účinností anodického rozpouštění, celkový úběr materiálu při elektrolýze. Podobně jako při chemickém opracování má mikrostruktura materiálu vliv na výslednou kvalitu povrchu posuzovanou přes drsnost povrchu. Mechanické vlastnosti materiálu jako tvrdost a houževnatost nemají výrazný vliv na opracování ECM metodami. Technologie ECM se používají přednostně pro tvrdé a tvrzené materiály (kalené oceli). Praktické zkušenosti poukazují na skutečnost, že napříč výše uvedenému, tvrdost povrchové vrstvy zakaleného materiálu zpomaluje rychlost úběru. Při opracování materiálu s obsahem uhlíku vzniká problém s jeho usazováním na anodě. Vyloučená uhlík je silně adhezí, tvoří povlak na anodě a tím způsobuje nerovnoměrný úběr a horší drsnost povrchu. Na usazování uhlíku nemá vliv jeho množství ale forma, ve které se v materiálu nachází. Kovy jako nikl a titan mají silný sklon k pasivaci. Následkem toho je obrábění slitin niklu v roztocích s pH větším než 9 prakticky nemožné. Titanové slitiny se v roztoku síranu sodného pasivují a na jejich povrchu se tvoří film oxidů. Tyto slitiny mají totožný úběr v roztoku chloridu sodného i v roztoku dusitanu sodného, ale povaha anodického rozpouštění titanových slitin v těchto roztocích je různá. Pro těžkoobrobitelné kovy jako je molybden a wolfram se nedoporučuje použití roztoku chloridu sodného, protože se v něm rozpouštějí jen velmi pomalu. Při ECM opracování kterékoliv slitiny je potřebné brát do úvahy, že každá složka má svůj specifický úběr a při nevhodné volbě elektrolytu a nevhodných provozních podmínkách (posuv, proudová hustota) může dojít

k nerovnoměrnému leptání povrchu obrobku. Při elektrochemickém obrábění se projevují všechny vady materiálu a také předcházející historie zpracování (vlákna po tažení, stopy po kování).

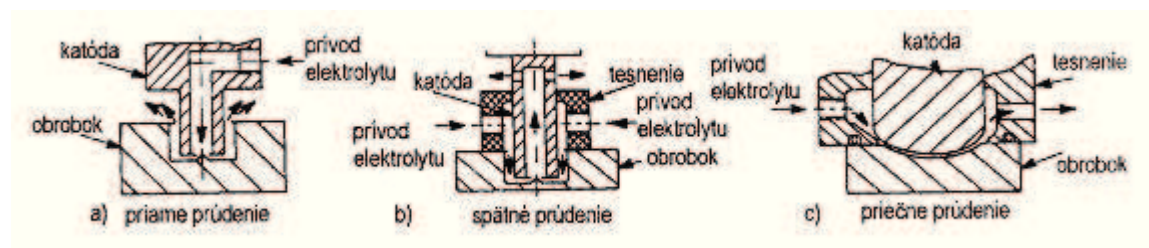
3.1.4. Zařízení a nástroje pro ECM obrábění [2]

Schéma zařízení pro elektrochemické opracování je znázorněna na obr. 2.3. Pracovní parametry mají různý rozsah. Elektrický proud se mění v rozmezí od 50 do 20 000 A s proudovou hustotou 0,2 až 3 A/mm² při maximálním jednosměrném napětí okolo 30 V. Mezera (GAP) mezi nástrojem a obrobkem může být pro uvedené parametry v rozsahu 0,025 až 1,3 mm. Zařízení zabezpečuje proudění elektrolytu v mezeře rychlostí 30 až 60 mm/s a tlakem od 70 do 2 800 kPa. Provozní teplota elektrolytu se pohybuje od 24 do 65 °C. Vyloučené nerozpustné produkty elektrolýzy jsou odstraňovány usazováním, filtrací nebo odstředováním případně jejich kombinací v závislosti na druhu zařízení. Rychlost posuvu nástroje do materiálu bývá v rozsahu 0,25 až 20 mm/min. Zvýšenou pozornost při ECM vyžaduje tuhost a stabilita stroje. Tuhost stroje je potřebná na zabezpečení přenosu vysokých tlaků a sil při dodržování rovnoměrné mezery mezi nástrojem a obrobkem a pro zabezpečení plynulého proudění elektrolytu. Síly vznikají v důsledku hydraulického tlaku elektrolytu proudícího v mezeře. Minimální rychlost proudění v elektrolytu při proudu 100 A při obrábění oceli v roztoku NaCl je 0,95l/min. na obr. 2.3 je zobrazeno schéma zařízení pro elektrochemické obrábění.



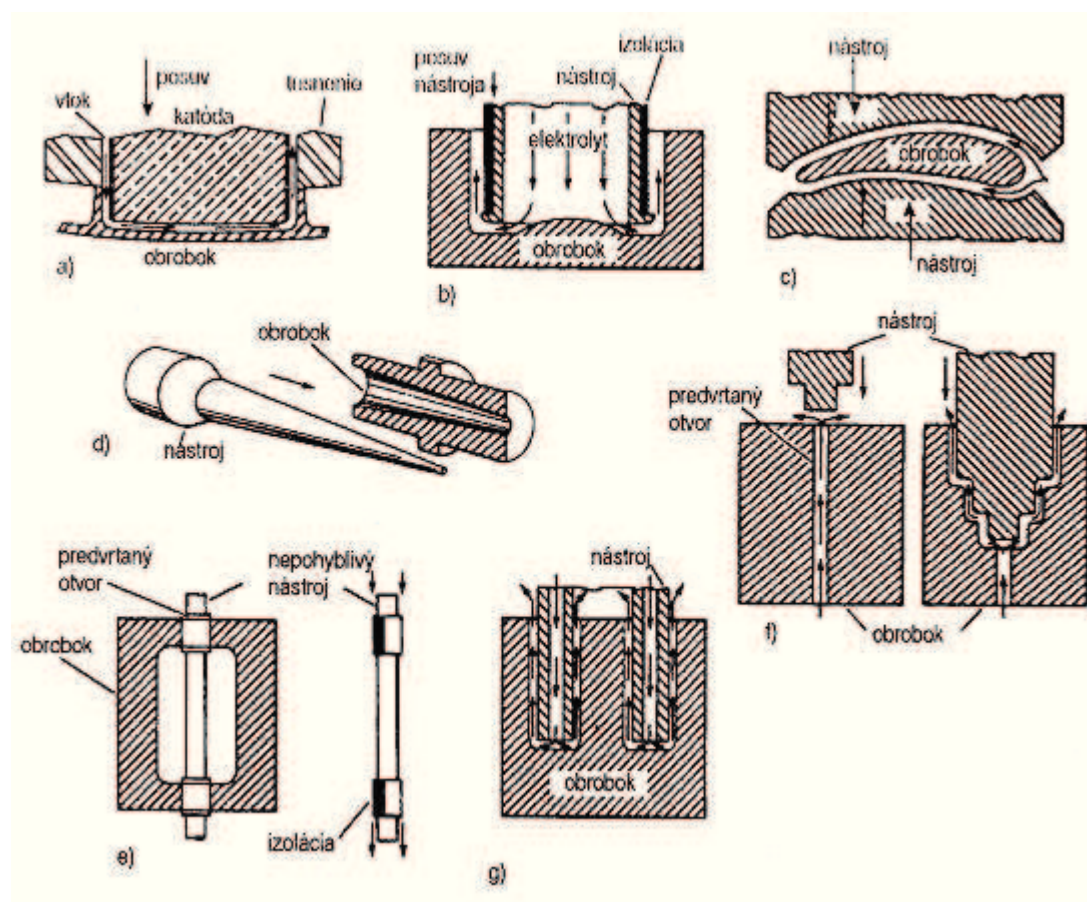
Obr. 2.3 Schéma zařízení pro elektrochemické obrábění [2]

Součástí zařízení musí být samozřejmě filtrační zařízení pro čištění elektrolytu a komponenty na ohřev elektrolytu na konstantní provozní teplotu např. 30°C. Kritickým bodem ECM obrábění je katoda (nástroj). Přesnost rozměrů katody a její povrch (drsnost) přímo ovlivňuje přesnost vyrobené plochy a její kvalitu. Nerovnosti povrchu nástroje se kopírují na opracovaný povrch. Vyžaduje se leštěný povrch katody. Nástroje se vyrábějí klasickými metodami obrábění.



Obr. 2.4 Různé způsoby přívodu elektrolytu do mezery při elektrochemickém obrábění [2]

Dobrá tepelná a elektrická vodivost, chemická odolnost v elektrolytech a vyhovující mechanická obrobiteľnosť jsou základní požadavky na vlastnosti nástrojových materiálů pro ECM obrábění. Tímto materiálům odpovídá např. mosaz, bronz, měď. Používají také nerezavějící oceli, Monell, titan nebo hliník. Titan se používá pro zvláštní účely, většinou v kyselých elektrolytech. Tvar nástroje při ECM by měl být zrcadlový obraz opracovaného povrchu resp. předmětu. Mnohokrát je však potřebné přizpůsobit tvar nástroje podmínkám obrábění. Nástroj v procesu není v přímém kontaktu s obrobkem.



Obr. 2.5 Typy nástrojů pro elektrochemické obrábění [2]

A – celistvý nástroj pro příčné proudění elektrolytu na hloubení hlubokých a úzkých děr

B – nástroj pro hloubení s přímým prouděním elektrolytu

C – dvojice nástrojů pro opracování vnějšího tvaru

D – nástroj na tvoření kuželových otvorů do předvrtaného otvoru

E – nástroj na rozšiřování vnitřních profilů

F – nástroj pro hloubení odstupňovaného otvoru, elektrolyt je přiváděn přes předvrtaný otvor

G – speciální dvojitý nástroj pro vrtání na jádro

Úlohou nástroje je vytvořit vhodné podmínky pro rovnoměrný a dostatečný průtok elektrolytu ve stabilní mezeře při daném úběru materiálu. Je několik způsobu přívodu a proudění elektrolytu v mezeře mezi nástrojem a obrobkem. Obr. 2.4 znázorňuje 3 základní způsoby:

- přímý přívod
- zpětné proudění
- příčné proudění elektrolytu

Každý ze způsobů má své přednosti a nevýhody. Systém zpětného proudění způsobuje hladší povrch a rovnoměrnější úběr materiálu v porovnání s přímým prouděním elektrolytu. Příčné proudění se volí pro celistvé nástroje bez otvorů. Těsnění okolo obráběné má za úlohu omezit tlak elektrolytu na plochy přiléhající k obráběné ploše. V současnosti

jsou zásady pro navrhování nástrojů pro ECM obrábění dobře propracované. V současné době využití CAD/CAM systémů a jejich napojení na CNC stroje umožňuje vyrábět nástroje s vysokou tvarovou a rozměrovou přesností a s nižšími náklady za kratší čas. Na obr. 2.5 jsou znázorněné některé typy nástrojů pro elektrochemické tvarování a hloubení.

3.1.5. Vlastnosti opracovaného povrchu [2]

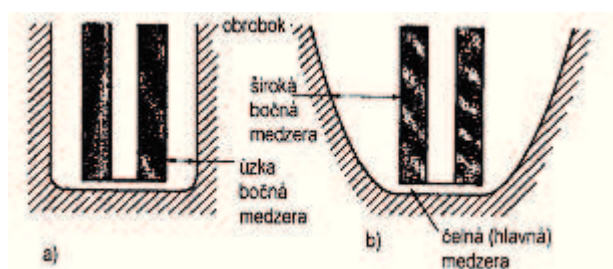
Elektrochemicky opracované povrchy v porovnání s povrchy opracovanými mechanicky nevykazují stopy deformace od mechanického namáhání, protože v procesu ECM vznikají řádově velmi malé síly. Povrchy nejsou tepelně ovlivněné a neobsahují zbytkové napětí, opracované dílce jsou bez otřepů. V porovnání s mechanicky opracovanými povrchy, elektrochemicky opracované povrchy vykazují lepší funkční vlastnosti a to vyšší odolnost vůči opotřebení, tření a koroznímu napadání. Na druhou stranu elektrochemické opracování snižuje mez únavy materiálu, protože pod povrchem nevznikají zbytková napětí. Z uvedeného důvodu pro dílce pracující v podmínkách vyššího zatížení je potřebné kombinovat elektrochemické opracování s mechanickým opracováním např. broušením nebo tryskáním za účelem vyvolání tlakových zbytkových napětí, které zvyšují mez únavy. Vlastnosti elektrochemicky opracovaného povrchu jsou závislé:

- vlastnostech opracovaného materiálu (složení, struktura, mikrostruktura)
- na typu elektrolytu (složení elektrolytu, kinematická viskozita, teplota, průtok)
- na provozních parametrech procesu (proudová hustota, rychlost posuvu nástrojové elektrody, rovnoměrná mezera mezi nástrojem a obrobkem)

Mechanické vlastnosti materiálu neovlivňují proces elektrochemického opracování. Na rovnoměrnost opracování povrchu působí složení a struktura materiálu podobně. Jamkovitý a nerovnoměrně rozpuštěný povrch vzniká jako důsledek nehomogenní struktury povrchových vrstev a také jako důsledek předešlého mechanického a tepelného zpracování. Dosahovaná drsnost povrchu R_a je závislá na typu materiálu obrobku. Slitiny na bázi niklu, kobaltu a nerezavějících ocelí dosahují při ECM opracování hladší povrch s drsností R_a okolo 0,13 až 0,38 μm v porovnání s běžnou ocelí a slitinami na bázi železa, kde R_a je v rozmezí 0,63 až 1,25 μm . Klasické ECM procesy nepatří mezi vysoce přesné metody. Rozložení elektrických proudových čar vytváří zaoblené hrany na obrobku. Přesnost elektrochemicky opracovaného povrchu ovlivňují provozní parametry procesu:

- napětí – uvádí se v širokém rozsahu 5 až 30 V, v závislosti na parametrech zařízení, ale běžně se doporučuje napětí mezi 6 až 12 V, vyšší napětí může způsobit výboj mezi elektrodami, nižší napětí zase může být příčinou přerušení procesu elektrolýzy

- posuv nástroje a mezera (GAP) – je velmi dodržovat konstantní posuv nástroje do řezu, aby se dodržela optimální mezera mezi nástrojem a obrobkem. Zmenšení mezery může mít za následek zkrat obvodu, zvýšení mezery nad stanovenou hodnotu opět může mít za následek přerušení procesu elektrolýzy. Šířka mezery se mění v závislosti na rychlosti posuvu
- elektrolyt – jeho vlastnosti, teplota, koncentrace. Nejčastěji používané druhy elektrolytu NaCl a NaNO₃ působí nerovnoměrně na rozpouštění materiálu. Obr. 2.6 znázorňuje vliv druhu elektrolytu na přesnost rozměru. Pro rovnoměrný úběr materiálu je potřebné udržovat konstantní teplotu elektrolytu a také jeho koncentraci. Změna koncentrace elektrolytu, jak už bylo uvedeno výše, ovlivňuje rovnoměrnost úběru a tedy také přesnost obrábění.



Obr. 2.6 Vliv použitého elektrolytu na rozměrovou přesnost tvaru [2]

A – dusičnan sodný

B – chlorid sodný

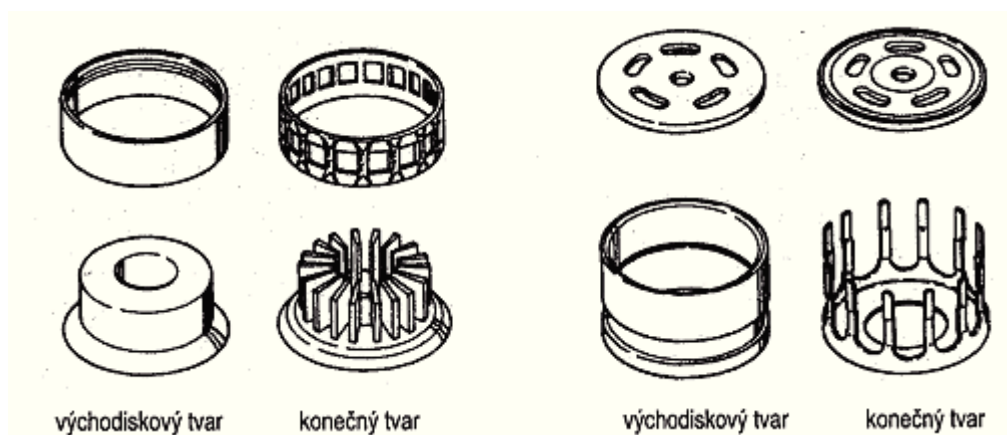
3.1.6. Oblasti použití elektrochemického obrábění [2]

Průmyslové použití elektrochemického obrábění je široké a z technologického hlediska se používá pro:

- elektrochemické hloubení tvarů a otvorů
- elektrochemické dělení materiálu
- elektrochemické odstraňování otřepů
- elektrochemické leštění
- elektrochemické značení

Elektrochemické opracování je vhodné pro opakovanou výrobu tvarově složitých dílců s vysokou kvalitou dokončeného povrchu pro elektricky vodivé, tvrdé a těžkoobrobitelné materiály. Příklady typicky tvarově složitých dílců je uvedeno na Obr. 2.7. Ekonomicky vhodné je použití ECM procesu pro vícenásobné vrtání rotačních i nerotačních otvorů. Mezi přednosti technologie ECM patří, že nástrojové elektrody nepodléhají opotřebení, mají dlouhou životnost, koncentrace proudové hustoty na hrotech nástroje zaobluje hrany a odstraňuje otřepy. ECM se doporučuje pro:

- materiály obrobků s vysokou tvrdostí
- tvarově složité profily
- opracování, kde je nežádoucí mechanické a tepelné poškození povrchových vrstev
- dílce, kde je nežádoucí vznik zbytkových napětí pod opracovaným povrchem
- opracování bez otřepů
- opracování s vysokou kvalitou povrchu

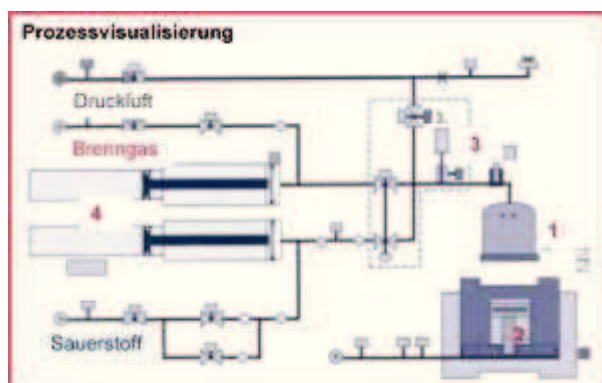


Obr. 2.7 Příklady typických dílců tvarovaných ECM procesem [2]

3.2. Termické odstraňování otřepů [2]

Termické odhroťování je vysoce výkonná a produktivní metoda odhroťování menších a tvarově složitých, jednoduchých i velmi náročných výrobků, na které jsou kladeny ty nejvyšší požadavky z hlediska čistoty, kvality a ekonomiky výroby. Tato metoda nekonvenčního obrábění je schopna stoprocentně zajistit, že se po dokonalém proběhnutí procesu v díle nikdy později nemůže nic uvolnit. Této výjimečné vlastnosti se s výhodou využívá při výrobě dílů pro automobilový průmysl ale také pro hydraulické a pneumatické prvky, kde by vniknutí i sebemenší nečistoty (například zbytku hrotu) mohlo způsobit nedozírné následky a nevratná poškození koncových systémů.

3.2.1. Princip termického odjehlení [1]



Obr. 3.1 Princip stroje TEM

- 1 - odhroťovací komora
- 2 - uzavírací mechanismus
- 3 - směšovací blok
- 4 - tlakové válce

Termické odhroťování, nebo-li odhroťování výbuchem patří do nekonvenčních metod strojírenského „obrábění“. Pracuje na principu chemické reakce „oxidace“. Díly jsou uzavřeny do odhroťovací komory – buď jsou položeny přímo na uzavírací „talíř“, nebo jsou vloženy nebo vsypány do „koše“, případně jsou upnuty do přípravku. Do komory se napustí směs kyslíku s plynem, v určitém poměru a pod určitým tlakem. Tato výbušná směs se zapalovací svíčkou zapálí. Tím dojde k výbuchu a za ca ve 20ti milisekundách se vytvoří „teplo“ 2.500 až 3.500 stupňů Celsia, dle nastavení. V této krátké „době“ vše co je „hrot“, tj. vše co má velkou plochu vůči zanedbatelnému objemu, absorbuje tuto obrovskou tepelnou energii a shoří, nebo-li zoxiduje. Tento proces proběhne v celém výrobku, tedy i v místech, kam se například mechanickou cestou nelze vůbec dostat. Plyn v komoře je do obrobku „natlačen“ tlakem mezi 10 až 20 bary. Tím se dostane i do děr těch nejmenších průměru v celém objemu výrobku.



Obr. 3.2 Koš, do kterého se vkládají či sypou výrobky [1]

Tímto principem metoda TEM 100% zaručuje, že po proběhnutí tohoto procesu, se nikdy později v dané součásti nemůže žádná částice hrotu oddělit a tím způsobit v konečném zařízení nějakou škodu, jako například u hydraulických či brzdových systémů, kdy by špona vnikla do oleje, či jiné kapaliny, mohla způsobit zaseknutí pístu a tím zapříčinit nefunkčnost či poruchu celého zařízení, nebo dokonce zavinit nehodu. Po procesu TEM jsou veškeré hrany na obrobku – vnější i vnitřní – ostré, nikoli však řezné. Jsou také zpevněné, čímž je jen podtrhnuta záruka nemožného pozdějšího uvolnění jakékoli částice nebo hrotu.

Tato metoda je také velmi produktivní. Během jedné minuty, což je takt stroje, je odhrotováno tolik dílů, kolik se jich do odhrotovací komory vejde.

3.2.2. Předepisování na výkresech [4]

S velkými úspěchy se metoda TEM dále využívá v průmyslu leteckém, při výrobě součástí vlaků, v lékařství a dále všude tam, kde je požadavek na stoprocentní kvalitu naprostou samozřejmostí. Díky své výjimečné vlastnosti ji v dnešní době již konstruktéři s velkým úspěchem předepisují na výkrese, namísto například složitého popisování, které hrany uvnitř dílu musí být sražené na jakou hodnotu a které stačí, aby byly bez hrotu. Tím dochází k velkým úsporám již při vlastní konstruktérské činnosti a dále pak ve vlastní výrobě, kde není úplně nutné dokonale hlídat perfektní proces obrábění, precizní nabroušení nástrojů a podobně, ale je možné s úspěchem obrábět o něco déle a vzniklé hroty pak jednoduše odstranit pomocí termického odhrotování a to dokonce i bez následné velmi nákladné kontroly. Při výrobě tedy odpadá mnoho složitých a nákladných operací při kontrole velikosti a počtu hrotů uvnitř dílců, což je mnohdy velmi nepříjemná a unavující činnost s endoskopem, která tak jako tak nikdy není stoprocentní, neboť nelze vyloučit chybu lidského faktoru. Pokud díl projde odhrotovací komorou stroje, což je na něm vidět na první pohled, je zde ihned výše uvedená stoprocentní záruka.

3.2.3. Zápalná směs kyslíku s plynem [4]

Díly jsou uzavřeny do odhrotovací komory, kde je následně pod tlakem napuštěna zápalná směs kyslíku s plynem (zemním, metanem nebo vodíkem). Tato směs má přesně daný poměr, který je pro každý materiál jiný, a je do komory vtlačena hydraulickým válcem pod určitým tlakem, který je opět různý pro každý druh výrobku, tvar a velikost hrotů, materiál a podobně. Směs je následně zapálena zapalovací svíčkou. Tím dochází k řízenému výbuchu a v komoře je krátkodobě (cca po dobu 20 milisekund) vyvinuto teplo 2500 až 3000 °C, podle nastavení, materiálu atd. V této době dochází k vlastnímu procesu oxidace, tedy hoření a to v celém objemu obrobku jak uvnitř, tak na povrchu, v té nejmenší díře, v tom nejzazším místě či průniku děr, velkých, malých i těch nejmenších, krátkých i dlouhých. V každém místě obrobku vždy dochází k oxidaci, v každém místě jsou odstraněny hroty. Je zde zcela vyloučen lidský faktor. Každý díl, který je pak po odhrotování z komory vyňat, má změněnou barvu a sice tím, že na jeho povrchu ulpí právě oxidy odstraněných hrotů. Tím je vidět na první pohled, že díl byl skutečně odhrotován. Pokud by tento proces neproběhl nebo by proběhl například při chybném nastavení stroje, díl by nebyl odhrotován a zároveň by to bylo na něm bylo ihned jednoduše, vizuálně vidět.

3.2.4. Hrany obrobku jsou zpevněny [4]

Veškeré hrany v celém objemu jsou navíc po tomto procesu zpevněny, čímž je právě zcela vyloučena možnost jakéhokoli uvolnění nějaké částčky. Hrany jsou ostré, ale nejsou řezné. Po výbuchu zároveň nedochází k žádným materiálovým změnám ani změna jakýchkoli rozměrů. Díl za dobu zhruba 20 milisekund nestihne pojmout velké, výbuchem vyvinuté teplo a ohřeje se maximálně na cca 80 až 150°C podle druhu materiálu a nastave ní stroje. Také nedochází k žádnému poškození závitů, neboť ty se nechovají jako hrot, ale jako základní materiál a teplo odvádějí kuželem do základního materiálu.

3.2.5. Materiály schopné oxidace [4]

Jsou to veškeré materiály schopné oxidace. Tedy hliník a jeho veškeré slitiny, zinek a jeho slitiny, ocel – všechny druhy a třídy včetně nerezů, všechny litiny a mosazi. Hůře se odhroťává měď, protože je výborný vodič tepla, a titan. Tato metoda je schopna odhrotovat jakýkoliv tvar (čím je díl složitější, tím je metoda efektivnější). Není tedy tato metoda úplně vhodná pro velmi jednoduché součásti.

3.2.6. Vyloučení lidského faktoru [4]

Cena jednoho výbuchu není zcela zanedbatelná, ale je srovnatelná s ručním odhroťováním. Když se k tomu připočte vyloučení lidského faktoru, kvalita, preciznost a absence následných nákladů při opravách a případné dohady se zákazníkem, kdo například nehodu či poruchu zavinil, pak tato metoda jasně vítězí. Takt stroje je podle materiálu okolo jedné minuty. Jeden takt je odhroťování takového množství dílů, kolik se jich vejde do válce o průměru 250 mm a výšce 300 mm pro stroj TEM P400. Je-li to například jedna hydraulická kostka, je to jeden kus.

3.2.7. Čištění a konzervace [4]

Dalšími, někdy nutnými činnostmi po vlastním procesu výbuchu je čištění výrobků od oxidů po procesu výbuchu, jejich následná pasivace či konzervace a sušení. Tyto činnosti sice nejsou nezbytné, pokud jsou díly dále povrchově upravovány, nicméně díly jsou již hotové a pohledové, takže jejich čistota je nutností, a některé jdou naopak ještě před povrchovou úpravou na montáž, kde je zase potřeba, aby montážní pracovníci či mezioperační kontrola nebyli od vzniklých oxidů zašpinění. Leží-li díly po výbuchu například delší dobu ve skladu, je vhodné je konzervovat, neboť jsou po tomto procesu dokonale čisté, odmaštěné a tedy velmi náchylné na povrchovou korozi.

3.2.8. Pro jaké výrobky je TEM vhodná [3]

Termické odhroťování, nebo-li odhroťování výbuchem, lze s úspěchem využít pro drobnější, tvarově složité obrobky, které jsou ručními metodami buď obtížně odhroťovatelné,

nebo nejdou v některých případech odhrotovat vůbec – například průniky děr uvnitř hydraulických rozvaděčů, zámečky do aut ze zinkových slitin a podobně. Pokud je tato metoda zvolena pro vhodné díly, je zcela zaručen výsledek, neboť pokud díl odhrotovací komorou projde, tak odhrotován je, a to v celém svém objemu. Z principu metody vyplývá, že není možno, že by někde v díle například několik hrotů zůstalo. Zcela tedy vylučuje chybový lidský faktor! Je velmi důležitá pro použití v průmyslu hydraulickém a pneumatickém, kde je již v naprosté většině rovnou předepisována konstruktérem na výkresy a to hlavně z toho důvodu, aby se zajistilo, že se v dílu nikdy později neuvolní žádná částice, či špatně odstraněný nebo zapomenutý hrot. Dále se s úspěchem a velmi hojně využívá v automobilovém průmyslu, kde je buď nutné ji použít – například u brzdových válců a jiných systémů, nebo je vhodné ji použít z hlediska velmi vysoké produktivity a tudíž snížení výrobních nákladů – například u automobilových dveřních zámečků a spínacích skříněk. Letecký a kosmický průmysl je dalším odvětvím, kde je nutná naprostá spolehlivost a bezporuchovost, čehož tato metoda ze 100% dosahuje. Co se týče materiálu, tak je možno odhrotovat všechny materiály schopné oxidace. Dokonce je možno metodu využít i pro některé druhy plastů, nicméně tato operace je již trochu složitější.



Obr. 3.3 Díl před odhrotováním [3]



Obr. 3.4 Díl po odhrotování [3]

3.2.9. Použití v průmyslu [4]

Metoda odhrotování je velmi důležitá pro použití v průmyslu hydraulickém a pneumatickém, kde je již v naprosté většině rovnou předepisována konstruktérem na výkresy, a to hlavně z důvodu, aby se zajistilo, že se v dílu nikdy později neuvolní žádná částice či špatně odstraněný nebo zapomenutý hrot. Dále se s úspěchem a velmi hojně využívá v automobilovém průmyslu, kde je buď nutné ji použít (např. u brzdových válců a jiných systémů) nebo je vhodné ji použít z hlediska velmi vysoké produktivity a tudíž snížení výrobních nákladů (např. u automobilových dveřních zámečků a spínacích skříněk). Letecký a kosmický průmysl je dalším odvětvím, kde je nutná naprostá spolehlivost a bezporuchovost.



Obr. 3.5 Odhrotovací stroj TEM P400 [4]

4. Rozbor současného stavu odjehlování

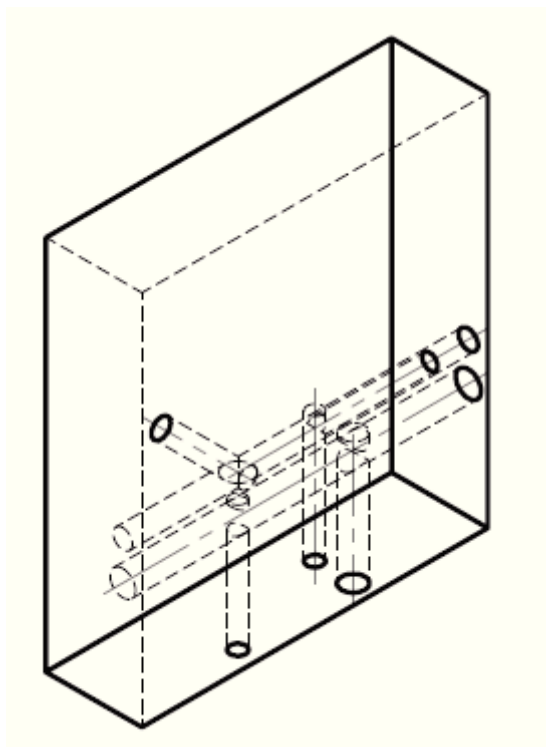
V této kapitole diplomové práce bude proveden popis a objasnění stávající technologie výroby hydraulických kostek. Představitel výroby pro diplomovou práci vzešel z výrobního programu společnosti V-Nass a.s. Tento podnik se zabývá výrobou

strojírenských výrobků. Mezi nejvýznamnější představitele výroby této společnosti patří výroba dílů pro offshore, díly do energetického průmyslu, tvářecí nástroje.

V-Nass, a.s je podnik s dlouholetou tradicí. Samé počátky vzniku společnosti sahají do roku 1917, kdy došlo k založení firmy pod názvem Malostrojírna pro výrobu důlního zařízení v areálu Strojírny Vítkovického horního a hutního těžářství. Mezi léty 1945 a 1950 se firma soustředila na výrobu pneumatického nářadí a strojů. V letech 1951 až 1995 se firma přeměnila na nářadovnu, výrobu nářadí pro podnik Vítkovice. V roce 1995 vznik Vítkovice Nass, spol. s r.o. se 100% podílem Vítkovice a.s. V roce 1997 došlo k odprodeji 100% majetkového podílu Vítkovice a.s společnosti V-Nass, spol. s r.o. V dalších letech dochází ke stabilizaci firmy, výroby přesných strojních dílů a změna orientace na exportní politiku firmy. Firma zažívá dynamický rozvoj a nákup nových technologií. Od 1.1.2011 se firma změnila na V-Nass, a.s. Díky moderně vybavenému strojnímu parku může V-Nass, a.s nabídnout širokou paletu výrobních možností.

4.1. Popis vyráběné součásti

Součástí je hydraulická kostka o rozměrech 90 x 98 mm, výšce 25 mm. Hydraulická kostka má po obvodu vrtané otvory, které jsou propojeny. Zhotovené průniky otvorů uvnitř hydraulické kostky představují funkční část. Hydraulická kostka je součástí hydraulického systému a tudíž průniky otvorů představují kritické místo, kde by se mohl potenciálně uvolnit otřep, což by mělo za následek poruchu hydraulického systému. V příloze č. 1 je uveden výrobní výkres hydraulické kostky. (č.v. – V1-315-01). Na následujícím obrázku 4.1 je znázorněna hydraulická kostka.



Obr. 4.1 Hydraulická kostka

4.2. Charakteristika materiálu součásti [12]

Hydraulická kostka je vyráběna z materiálu AISI 316L (ČSN 17 349, 17 350), která se již dále tepelným zpracováním nebude upravovat. Tento materiál je austenitická, kyselinovzdorná chromniklmolybdenová ocel s obsahem uhlíku do 0,03%. Je vysoce odolná proti kyselinám a především dobře odolné proti korozi, má mírný sklon k důlkové korozi způsobených pnutím v roztocích s obsahem chlóru. Ocel lze velmi dobře svařovat. Po svařování není třeba provádět žádnou tepelnou úpravu, i po svařování si ocel zachovává svou vysokou odolnost proti mezikrystalické korozi. Materiál AISI 316L se dále vyznačuje velmi dobrou leštitelností (leštění do zrcadlového lesku) a obzvlášť dobrou tvárností (ohýbání, zakružování, hluboké tažení, lisování atd.). Tato ocel se používá pro konstrukční díly, přístroje a aparáty chemického průmyslu s vysokým chemickým namáháním, především při přítomnosti chloridů. Dalšími typickými oblastmi použití jsou zařízení na úpravu teplé vody a konstrukční díly, které přicházejí do kontaktu s mořskou vodou. V následujících tabulkách je uvedeno chemické složení, mechanické a fyzikální vlastnosti, doporučené tepelné zpracování této oceli.

Tab. 4.1 Chemické složení []

C max.	Cr	Ni	Mo	Směrné chemické složení
0,03	17,5	12,5	2,25	%

Tab. 4.2 Mechanické hodnoty (při 20°C) [12]

Stav	Mez kluzu $\sigma_{0,2}$ MPa	Pevnost v tahu σ_{Pt} MPa	Prodloužení δ^5 %	Zúžení ψ %	Vrubová houževnatost R3 J/cm²
po rozpouštěcím žihání	>185	> 450	>45	>55	>160

Tab. 4.3 Fyzikální hodnoty [12]

Měrná hmotnost kg/dm³	Tepelná vodivost při 20°C W/m . K	Měrné teplo při 20°C J/kg . K	El.měrný odpor při 20°C Ω . m	Modul pružnosti v tahu E MPa při 20°C
7,95	15	500	750	200. 10³

Tab. 4.4 Doporučený postup pro tepelné zpracování a tváření za tepla [12]

Postup	Teplota °C	
Kování	1 150 - 800	po kování žihat
Rozpouštěcí žihání	1 020 - 1 080	po prohřátí držet 15-30min. na teplotě, pak ochladit ve vodě, tenké díly na vzduchu

Svařitelnost tohoto materiálu je zaručená. Svařované díly není nutno po svařování žihat. Svařování plamenem se nedoporučuje. Obrobitelnost je ztížená. Tvařitelnost za tepla je dobrá. Při tváření za studena se ocel zpevňuje.

4.3.Výrobní stroje stávající technologie

V současné době je obrábění hydraulické kostky realizováno těmito výrobními stroji: univerzální frézka, CNC horizontální frézka, bruska rovinná.

Univerzální frézka

Na tomto obráběcím stroji se provádí frézování polotovaru hydraulické kostky na rozměry 98 x 90 x 25 mm.

Typ: FGS 25/32 (obr. 4.2)

Technické parametry stroje:

- rozměry stolu: šířka x délka 320 x 1000 mm

- upínací drážky: počet x šířka x rozteč	4 x 18 x 63	mm
- pohyb stolu: - podélný	720	mm
- svislý	420	mm
- max. hmotnost obrobku	450	kg
- upínací kužel ve vřetenu	ISO 40	
- stupeň přesnosti/ jakost plochy	IT 8 / 1,6	



Obr. 4.2 Univerzální frézka FGS 25/32 [13]

CNC horizontální frézka

Na tomto obráběcím stroji se do hydraulické kostky vrtají otvory D4, D5, D6 a D6,6 dle výkresu.

Typ: CNC frézka H40A (obr. 4.3)

Technické parametry stroje:

- rozměr stolu	400 x 400	mm
- výkon vřetena	12	kW
- rozsah otáček vřetena	40 – 10 000	min ⁻¹
- typ převodyřemenový		
- pracovní posuv v ose x, y, z	0 – 15	m/min
- rychloposuv v ose x, y, z	50	m/min
- max otáčky v ose B	15	min ⁻¹
- upínací kužel nástroje	SK40	
- rozměry stroje(šířka x hloubka x výška)	4730 x 2540 x 2616	mm
- řídicí systém	Heidenhain iTNC 530	



Obr. 4.3 CNC frézka H40A [14]

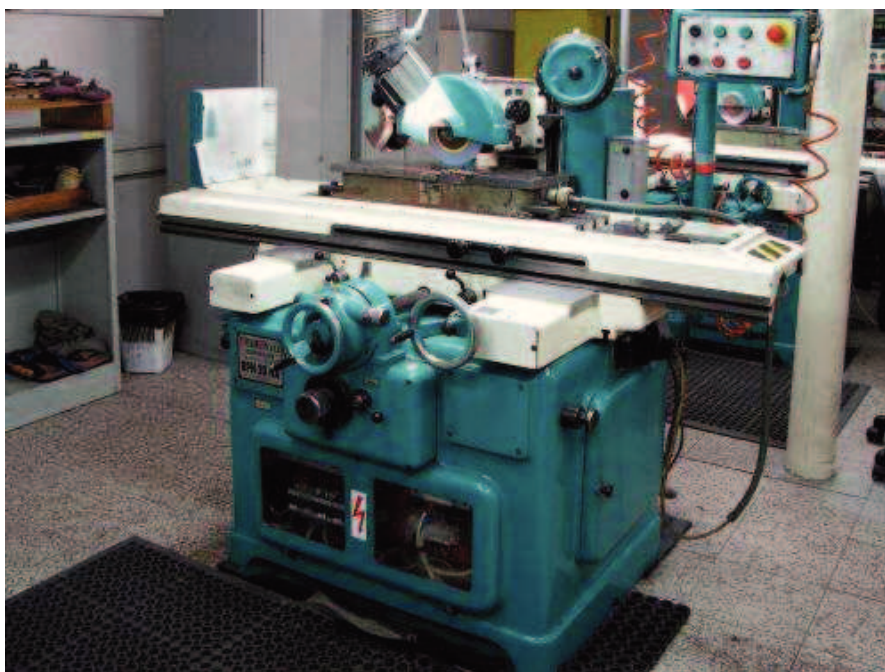
Bruska rovinná

Na tomto stroji se na hydraulické kostce brousí těsnící plochy, na kterých je drsnost opracování 0,8.

Typ: BPH 20 NA (obr. 4.4)

Technické parametry:

- upínací plocha stolu:šířka x délka	200 x 630	mm
- max. šířka broušení	200	mm
- max. délka broušení	610	mm
- brusný kotouč	250 x 20 x 76	mm
- max. hmotnost obrobku	180	kg
- stupeň přesnosti/ jakost plochy	IT 4 / 0,4	
- posuv stolu příčný	0,2 až 2mm	
- otáčky vřetena	2320min ⁻¹	



Obr. 4.4 Bruska rovinná horizontální BPH 20 NA [15]

4.4.Výrobní nástroje stávající technologie

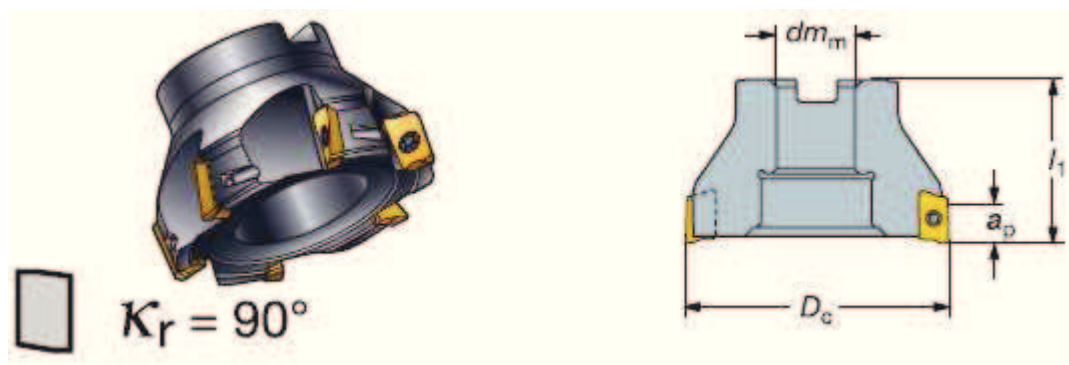
Pro obrábění hydraulické kostky se používají frézovací hlavy od firmy Sandvik Coromant. Frézovací hlavy jsou osazeny vyměnitelnými břitovými destičkami rovněž od tohoto výrobce. Pro vrtání otvorů se používá TK vrtáky od firmy Titex a dělové vrtáky od firmy Botek. Dokončovací operace broušení je realizována brusným kotoučem. Odjehlení vnějších hran je provedeno technickými frézami a odstranění otřepu v prunicích otvorů je také provedeno technickými frézami.

Nástroje pro frézování [22, 23, 24]

Pro frézování rovinných ploch jsou použity frézy od firmy Sandvik Coromant s označením R390-100Q32-17M a R390-050Q22-17M.

Tab. 4.5 Parametry frézy R390

Označení ISO	Rozměry [mm]				
	D_{m_m}	Dc	ap	L_1	Zubů
R390-100Q32-17M	32	100	15,7	50	7
R390-050Q22-17M	22	50	15,7	40	4



Obr. 4.5 Fréza typu R390

Vyměnitelné břitové destičky do výše uvedených fréz se také používají od firmy Sandvik Coromant. Typ použité vyměnitelné břitové destičky je R390-170408M-PM GC 1030.

Tab. 4.6 Parametry VBD

Typ	Označení	Rozměry [mm]				
	R390-170408M-PM GC1030	S	W1	LE	RE	BS
		4,76	9,6	16	0,8	1,5

Používané řezné podmínky:

- $vc = 160 \text{ m/min}$
- $fz = 0,08 \text{ mm}$
- $ap = 2 \text{ mm}$
- 8% koncentrace emulze

Nástroje pro vrtání [25, 26]

Pro vrtání otvorů dle výkresu jsou použity TK vrtáky od firmy Titex. Velikost vrtáků pro vrtání je v tabulce Tab. 4.7. Uvedené vrtáky mají povlak TiN.

Tab. 4.7 Velikost vrtáků, označení a podmínky

Velikost	Označení	$n \text{ [min}^{-1}\text{]}$	$f_{\min} \text{ [mm]}$
D4	A1164TIN 4	3500	190
D5	A1164TIN 5	2800	180
D6	A1164TIN 6	2200	150
D6,6	A1164TIN 6,6	2000	160

Pro vrtání hlubokých otvorů jsou použity dělové vrtáky od firmy Botek. Velikost vrtáků pro vrtání je v tabulce Tab. 4.8 Vrtáky jsou s připájenou celokarbidovou hlavicí.

Tab. 4.8 Velikost vrtáků, označení a podmínky

Velikost	Označení	n [min ⁻¹]	f _{min} [mm]
D4	Typ 110	3200	22
D5	Typ 110	2600	23
D6,6	Typ 110	2000	20

Nástroje na broušení [16]

- brusný kotouč

Tento nástroj je používán pro finální operaci, dokončení těsnicí plochy.

Parametry brusného kotouče:

- průměr kotouče 250 mm
- šířka kotouče 20 mm
- broušení oceli a nerezů <67 HRc

Použité řezné podmínky:

- otáčkyn 2320 min⁻¹
- přísuv f 0,05 mm

Složení kotouče: mikrokrystalický umělý korund s keramickým pojivem

Nástroje na odjehlení

- technické frézy

Tyto nástroje se používají na zámečnickém pracovišti k odjehlení vnějších hran a také k odstranění otřepů v průnicích otvorů.

Technické kuželové frézy [17]

Technické frézy kuželové se používají pro odstranění otřepů po obvodě hydraulické kostky (obr. 4.6 a tab. 4.9).



Obr. 4.6 Technická kuželová fréza

Tab. 4.9 Parametry technické kuželové frézy

Označení	Vnější průměr [mm]	Délka řezné části [mm]	Průměr stopky [mm]	Celková délka [mm]
T2400	6	19	6	50

Technické frézy sférické

Technické frézy sférické se používají na odstranění otřepů v místech průníků otvorů (obr. 4.7 a tab. 4.10).



Obr. 4.7 Technická fréza sférická

Tab. 4.10 Parametry technické frézy sférické

Označení	Vnější průměr [mm]	Délka řezné části [mm]	Průměr stopky [mm]	Celková délka [mm]
T7200	3	2,7	3	38
T7300	4	3,6	3	45

V hydraulické kostce jsou následující průniky:

- D4 x D4 – hloubka 30 mm
- D5 x D5 – hloubka 22,5 mm
- D6,6 x D4 – hloubka 30 mm
- D6,6 x D6 – hloubka 30 mm

Z výše uvedených průníků se používají sférické technické frézy s označením T7200 a T7300.

4.5. Stávající technologický postup

Současná výroba hydraulické kostky je prováděna na konvenčních strojích.

Jak již bylo uvedeno v předchozím textu, jedná se o univerzální frézku FGS 25/32, CNC frézku H40A a rovinnou brusku BPH 20 NA.

Opracování polotovaru na rozměry je provedeno na frézce FGS 25/32. Zde je hydraulická kostka frézována na rozměry 90 x 98 x 25 mm. Po této operaci následuje odstranění otřepů na zámečnickém pracovišti. Déle je provedeno na CNC frézce H40A vrtání otvorů do průníků dle výkresu. Následující operace je broušení těsnící plochy na drsnost povrchu 0,8. Následuje odstranění otřepů a značení na zámečnickém pracovišti, kde se odstraní otřepy a odjehlí vnější hrany hydraulické kostky a pak se odstraní otřepy v průnicích otvorů. Nyní se hydraulická kostka odveze do kooperace na elektrochemické odjehlení průníků. Po kooperaci se hydraulická kostka zkontroluje, očistí a nakonzervuje.

Pro přehlednost jsem zpracoval pro stávající technologii výroby rámcový technologický postup (tab.354136), ve kterém je uveden sled jednotlivých operací.

Tab. 561043 Rámcový technologický postup

Operace	Stroj	Nástroj	Popis operace
10	FGS 25/32	Frézovací hlava	Frézovat na rozměry 98 x 90 x 25 mm
20	ZM	Technická fréza kuželová	Odjehlít po frézování
30	H40A	TK vrták, dělový vrták	Vrtat otvory dle výkresu - nejprve vrtat D5 a D6,6 dle řezu A-A
40	BPH20 NA	Brusný kotouč	Brousit těsnicí plochy na drsnost 0,8 dle výkresu
50	ZM	Technická fréza Kuželová a sférická	Označit, odjehlít vnější hrany, odstranit otřepy z průníků otvorů
60	Kooperace ECM		ECM odjehlít průniky otvorů
70	ŘJ		Kontrol po kooperaci
80	ZM		Konzervace
90	ŘJ		Výstupní kontrola

5.Návrh nové technologie odjehlování a pracoviště

Při návrhu nového řešení technologie odjehlování vycházím ze
Současného stavu výroby hydraulické kostky. Hlavním podnětem pro návrh inovací stávající
technologie výroby je změna v odjehlování součásti. Plánuje se, že odjehlování bude
realizováno ve firmě V-Nass, a.s a ne v externí firmě, jak tomu bylo doposud.

Důvodem změny finálního odjehlování, které bylo prováděno v kooperaci metodou ECM,
byla cena odjehlování, cena dopravy do kooperace, nejistota 100% finálního odjehlení a
následná náročná kontrola průníků. Toto vše vedlo k návrhu jiného řešení finálního
odjehlení, které by výše uvedené nedostatky eliminovalo na minimum. Pro změnu
technologie finálního odjehlení hydraulické kostky je zapotřebí navrhnout vhodné výrobní
stroje, nástroje, přípravky a navrhnout nový technologický postup výroby. Touto
problematikou se zabývám v následujících kapitolách diplomové práce.

5.1.Volba stroje pro novou technologii výroby

Zařízení pro termické odjehlení

Na tomto stroji bude provedeno termické odjehlení hydraulické kostky. Bude zde provedeno odjehlení celé hydraulické kostky.

Typ: TEM P400 (obr. 5.1)

Technické parametry stroje:

- napětí	380 VAC/3 PH/50	Hz
- napětí pro řízení	24V DC	
- výkon	25	kVA
- hl. vypínač	580	ampér
- řídicí systém	Siemens S7-300	
- velikost pracovní komory (D x h)	250x300	mm
- max. tlak v komoře	23	bar
- pracovní cyklus	60 – 90	sec
- pracovní výška	1066	mm
- rozměry: délka	3848	mm
šířka	2692	mm
výška	3330	mm
- hmotnost	11800kg	



Obr. 5.1 TEM P400

Zařízení pro čištění po termickém odjehlení

Na tomto zařízení bude provedeno čištění po termickém odjehlení, proveden oplach ve 2 komorách, sušení a konzervace hydraulických kostek.

Technické parametry zařízení:

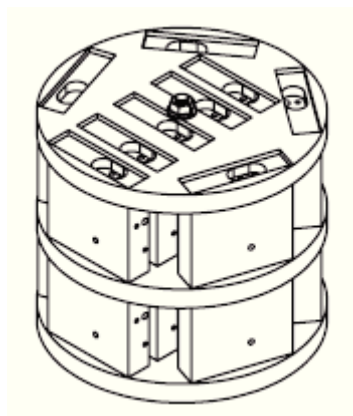
- rozměry: délka	4000	mm
šířka	600	mm
výška	900	mm
- pracovní výška	950	mm
- čistící lázeň	Novaclean 120 LF	
- teplota čistící lázně	30 – 40	°C
- ultrazvuk v čistící lázni	10W/1 l	
- obsah čistící lázně	70l	
- oplacován lázeň	P3 Previnox 505	
- teplota oplachové lázně	30 – 40	°C
- konzervační olej	Castrol Safecoat DW15X	
- rozměry koše	440 x 240mm	
- velikost komory	490 x 290mm	
- nosnost zařízení	250	kg

5.2.Volba příslušenství pro novou technologii výroby

Pro novou technologii odjehlení bude navrženo nové příslušenství pro vlastní proces odjehlení včetně příslušenství doprovodného. Nové příslušenství se bude týkat především v návrhu nového přípravku pro vlastní proces odjehlení, kdy do přípravku bude umístěno co nejvíce hydraulických kostek pro nejvyšší efekt. Déle bude navržen odkládací stůl pro odjehlené kostky. Odkládací stoly budou dva. Jeden bude u odjehlovacího stroje TEM P400 a druhý u zařízení na čištění hydraulických kostek.

Přípravek pro TEM

Přípravek pro termické odjehlení hydraulických kostek je navržen tak, aby se do něj vešlo co nejvíce hydraulických kostek. Materiál přípravku musí být z totožného materiálu jako je hydraulická kostka, protože při termickém odjehlení dochází k oxidaci. Číslo výkresu přípravku je V1-315-03.



Obr. 5.2 Přípravek pro TEM

Odkládací stůl

Odkládací stůl navrhují z důvodu snadnější manipulace s hydraulickými kostkami. Jeden stůl bude u odjehlovacího stroje TEM P400 a druhý stůl bude u zařízení na očištění hydraulických kostek.

Typ: katalogové číslo 81707201 (obr. 5.3)

Technické parametry:

- nosnost	500	kg
- odkládací plocha	1000 x 700	mm
- počet polic	2	
- výška horní plochy	905mm	



Obr. 5.3 Odkládací stůl [21]

5.3.Volba pomůcek pro kontrolu průníků

Průnik otvorů bude kontrolován průmyslovým boroskopem. Nejmenší dvojice otvorů, které mají společný průnik je D4 x D4. Z tohoto důvodu vybírám následující boroskop.

Typ: MK027-018-090-62 (obr. 5.4)

Technické parametry:

- průměr sondy	2,7	mm
- pracovní délka	180	mm
- směr pohledu	90	°
- světlovodný kabel (průměr/délka)	3,5/2500	mm
- kontrola otvorů od průměru	3,5	mm
- vstupní napětí ovládací skříňky	9 až 19V (stejnoseměrný)	
- spotřeba energie	max. 38W	
- rozměry skříňky (š x v x h)	90 x 38 x 130	mm
- hmotnost skříňky	650	g



Obr. 5.4 Boroskop MK027-018-090-62 [20]

5.4. Popis nové technologie výroby

Nová technologie odjehlení bude spočívat v ustavení hydraulických kostek do přípravku č.v. V1-315-03, kde se vejde 18 hydraulických kostek. Následně se přípravek s hydraulickými kostkami vloží do odjehlovacího stroje TEM P400, kde se provede 1. termické odjehlení. Následně se provede druhé finální termické odjehlení. Poté se hydraulické kostky očistí od oxidů, 2x opláchnou, osuší a nakonec se nakonzervují.

5.5. Návrh pracoviště

Návrh pracoviště vyplývá z výše uvedeného stroje, zařízení a příslušenství. Návrh pracoviště je v příloze č. 2. Číslo výkresu je V1-315-02.

5.6. Pracovní síly a směnnost pracoviště

Odjehlovací stroj TEM P400 je dostatečně automatizován. Vzhledem k tomu

je pro obsluhu tohoto stroje navržen 1 pracovník na 1 směnu. Pro zařízení na čištění po termickém odjehlení bude potřeba pracovníků následující:

$$x = \frac{\frac{Q}{d} \cdot T}{60 \cdot EFD \cdot KPN \cdot KP} = \frac{\frac{810000}{12} \cdot 3}{60 \cdot 1824 \cdot 1 \cdot 1} = 1,85 \text{ pracovníků}$$

Q – objem výroby v ks/ rok

T – pracnost

EFD – efektivní časový fond dělníka určený pro danou směnnost

60 – přepočít EFD (hod/rok) na EFD (min/rok)

KPN – koeficient plnění norem

KP – koeficient snižování norem

5.7.Celková potřeba pracovníků

Pro odjehlovací stroj TEM P400 bude potřeba pracovníků 1.

Pro zařízení na čištění hydraulických kostek bude potřeba 2 pracovníky. Celkem bude potřeba 3 pracovníky na 1 směnu.

5.8.Výpočet kapacit

Počet strojů TEM P400

$$x = \frac{\frac{Q}{d} \cdot T}{60 \cdot EFS \cdot KPN \cdot KP} = \frac{\frac{810000}{18} \cdot 2}{60 \cdot 1824 \cdot 1 \cdot 1} = \frac{90000}{109440} = 0,82$$

Počet strojů čistícího zařízení

$$x = \frac{\frac{Q}{d} \cdot T}{60 \cdot EFS \cdot KPN \cdot KP} = \frac{\frac{810000}{12} \cdot 3}{60 \cdot 1824 \cdot 1 \cdot 1} = \frac{202500}{109440} = 1,85$$

Q – objem výroby v ks/ rok

T – pracnost

EFS – efektivní časový fond stroje určený pro danou směnnost

60 – přepočít EFS (hod/rok) na EFS (min/rok)

KPN – koeficient plnění norem

KP – koeficient snižování norem

Celková potřeba stroje TEM P400 je 1 ks.

Celková potřeba čistícího zařízení je 2 ks.

Výrobní kapacita

$$x = \frac{EFS \cdot p.v \cdot d \cdot p.s}{T} = \frac{1824 \cdot 50 \cdot 18 \cdot 1}{2} = 810000 \text{ ks/rok}$$

p.v – počet výbuchů za minutu

p.s – počet strojů TEM

5.9. Výpočet spotřeby plynů

Pro odjehlení na Stroj TEM P400 je potřeba zemního plynu a kyslíku. Spotřeba plynů lze vypočítat, nicméně vychází z tlaku a množství jednotlivého plynu v komoře. Toto je know how odjehlovací firmy. Orientační průměrná spotřeba plynů je následující:

zemní plyn 1 m³/hod.

kyslík 2 m³/hod.

5.10. Cenová náročnost zařízení

Cenová náročnost zařízení se bude skládat z následujících položek.

Odjehlovací stroj TEM P400 25 000 000 Kč

Zařízení na čištění po odjehlení 750 000 Kč

Celkově je potřeba pro jednosměnný provoz 1 stroj TEM P400 a 2 čistící zařízení.

Celkové náklady na zařízení tedy činí 26 500 000 Kč

Ceny jsou stanoveny k 1.5.2012. Ostatní cenová náročnost – energií, plynu a doplňkových staveb bude v režii firmy V-Nass, a.s., proto je zde neuvádím.

5.11. Cenová náročnost použitého příslušenství

Cenová náročnost použitého příslušenství se týká pouze odkládacího stolu, který je výše uveden. Pro výrobu bude potřeba 4 ks odkládacího stolu. Jeden odkládací stůl stojí 7500 Kč od firmy HHW. Celkové náklady na použité příslušenství činí 30 000 Kč.

5.12. Cenová náročnost pravidelné údržby

Přípravek pro termické odjehlení

Přípravek pro termické odjehlení kostek č.v. V1-315-03 bude vyroben ze stejného materiálu jako hydraulická kostka. Cena 1 ks přípravku je 6 000 Kč. Pro stroj TEM P400 je nutno vyrobit 5 ks přípravků z důvodu 5 pozic ve stroji. Celková cena 5 ks přípravků tedy bude 30 000 Kč. Životnost 5 ks přípravků při jednosměnném provozu činí 1 rok.

Kyslíkový zásobník

Kyslíkový zásobník 4000 l. Pronájem na měsíc činí 9000 Kč.

Zásobník na zemní plyn

Zásobník na zemní plyn není řešen. Zemní plyn je do stroje dopravován nízkotlakým potrubím.

Čistící lázeň [19]

Čistící lázeň se použije Novaclean 120 LF. V nádrži je 70 litrů. Při jednosměnném provozu se lázeň vyměňuje 1x týdně za novou. Lázeň není nebezpečný odpad, odčerpá se do připraveného barelu a odveze ke zpracování. 1 litr nové lázně stojí 180 Kč/litr.

Oplachová lázeň [18]

Oplachová lázeň se použije P3 Previox 505. V nádrži je 70 litrů. Při jednosměnném provozu se lázeň vyměňuje 1x měsíčně za novou. Lázeň není nebezpečný odpad, odčerpá se do připraveného barelu a odveze ke zpracování. 1 litr nové lázně stojí 185 Kč/litr.

Údržba stroje TEM P400

U tohoto stroje probíhá 1x ročně pravidelná kontrola, kde s překontroluje a vymění těsnění, hodiny. Tato kontrola stojí cca 125 000 Kč. Po 20 000 taktech se mění sada komponentů (např. svíčky, těsnění). Tato kontrola a výměnná sada stojí 1 500 Euro. Po 200 000 taktech se repasuje vlastní komora. Tato repase se může provést max 2x za životnost stroje. Repase se provádí v Irsku. Demontáž, repase komory a montáž komory stojí 8 000 Euro.

5.13. Bezpečnostní předpisy

Při projektování provozu odjehlování musí být z hlediska požární bezpečnosti dodrženy požadavky následujících předpisů:

- zákon č. 50/1976 Sb. (stavební zákon)
- vyhláška FMTIR č.83/1976 Sb.
- Vyhláška FMTIR č.85/1976 Sb.
- ČSN 38 6405 Plynová zařízení. Zásady provozu
- ČSN 38 6410 Plynovody a přípojky s vysokým a velmi vysokým tlakem
- ČSN 38 6413 Plynovody a přípojky s nízkým středním tlakem
- ČSN 38 6417 Regulační stanice plynu
- ČSN 38 6420 Průmyslové plynovody
- ČSN 38 6441 Odběrní plynová zařízení na svítiplyn a zemní plyn v budovách
- ČSN 38 6461 Stavba a provoz kyslíkovodů

- ČSN ISO 6484-1 Systémy ochrany proti výbuchu

Pro bezpečnost práce při použití navrženého zařízení je nutno dodržovat následující podmínky:

- zařízení může být provozováno jen v prostředí bez nebezpečí výbuchu plynů dle směrnice ATEX (Atmospheres Explosibles) 100a v souladu s celoevropským předpisem EU 94/9/EHS
- na navrhovaném pracovišti je zakázáno hmoty a jiné hořlaviny
- zařízení smí obsluhovat jen osoby poučené ve smyslu ČSN 34 2100 a průkazně obeznámeni s bezpečnostními předpisy, jakož i znalé obsluhy zařízení v rozsahu uvedeném výrobcem
- pracoviště musí být vybaveno dostatečným počtem hasících přístrojů podle ČSN 65 0201 a ČSN 332030, které musí být umístěny na dobře viditelných místech. Přístroje musí být pravidelně kontrolovány a udržované ve funkci schopném stavu. Pro hašení případně hořících oděvů osob by měly být k dispozici hasící houně, hasící sprchy a jiná vhodná zařízení
- zařízení musí být udržováno v čistém stavu
- na celém pracovišti je zákaz kouření a používání otevřeného ohně. Toto musí být vyznačeno na výstražné tabuli. Rovněž zde nesmí být umístěn žádný jiný zdroj nebezpečného prostředí
- pracoviště odjehlování musí být opatřeno označenými únikovými východy

6. Technicko- ekonomické zhodnocení

Produktivita navrhované technologie bude zhodnocena technicko- ekonomickým zhodnocením stávající a navrhované technologie. Jelikož se výroba samotné součástky nezměnila a rozdíl bude pouze v operaci odjehlování, bude zhodnocena pouze tato operace. Zhodnocení bude provedeno na základě výrobních podkladů pro stávající technologii výroby. Hlavními ukazateli bude úspora nákladů na odjehlení.

6.1. Náklady na odjehlení u stávající technologie

U stávající technologie je finální odjehlení prováděno v kooperaci metodou ECM u firmy Henkel. Náklady na odjehlení 1 hydraulické kostky se dělí následovně:

- náklady na dopravu
- náklady na kooperaci

Náklady na dopravu činí 3 000 Kč.

Náklady na kooperaci činí 3 500 Kč.

Při výrobní dávce 20 ks činí cena za 1 ks 4 500 Kč.

6.2. Náklady na výrobu u nové technologie

Při odjehlování na novém navrhovaném pracovišti budou náklady na odjehlení jedné hydraulické kostky následující a budou se skládat:

- příprava výroby
- čas vlastního odjehlení a očištění

Na novém pracovišti navrhuji sazbu pro stroj 35 Kč/min.

Náklady na přípravu výroby bude 60 minut.

Náklady na vlastní odjehlení budou 2 min./dávku 18 ks

Náklady na očištění budou 3 min./dávku 12 ks.

Celkové náklady na odjehlení jedné hydraulické kostky při dávce 12 ks budou činit:

$$x = \frac{\text{Cena přípravy}}{12} + \frac{\text{Cena odjehlení}}{12} + \frac{\text{Cena čištění}}{12}$$

$$x = \frac{35 \cdot 60}{12} + \frac{35 \cdot 2}{12} + \frac{35 \cdot 3}{12} = 175 + 5,8 + 8,8 = 190 \text{ Kč/ks}$$

Cena energií, plynu a ostatních nákladů jsou v režii firmy V-Nass, a.s.

6.3. Alternativní řešení

Alternativním řešením je kooperace u firmy, která provádí termické odjehlení. Při poptávce termického odjehlení hydraulické kostky se náklady na odjehlení dělí následovně:

- náklady na dopravu
- náklady na kooperaci
- náklady na přípravek

Náklady na dopravu by činily 3 000 Kč.

Náklady na kooperaci by byly následující:

- příprava 1500 Kč
- vlastní odjehlení 300 Kč/1 výbuch (při jednom výbuchu se odjehlí 18 hydraulických kostek)
- Náklady na přípravek budou činit 6 000 Kč

Celkové náklady na odjehlení jedné hydraulické kostky při dávce 10 ks budou činit:

$$x = \frac{\text{Cena dopravy}}{10} + \frac{\text{Cena odjehlování}}{10} + \frac{\text{Cena přípravy}}{10} + \frac{\text{Cena přípravku}}{10}$$
$$x = \frac{3000}{10} + \frac{600}{10} + \frac{1500}{10} + \frac{6000}{10} = 300 + 60 + 150 + 600 = 1110 \text{ Kč/ks}$$

6.4. Závěry vyplývající z technicko- ekonomického zhodnocení

Navrhovaná změna technologie bude mít vliv na snížení spotřeby času výroby součásti, což povede k poklesu nákladů na výrobu jednoho kusu hydraulické kostky. Jelikož firma V-Nass, a.s právě vyjednává po obchodní stránce množství hydraulických kostek, nelze přesně říci, jestli je výhodnější kooperace termických výbuchem nebo nákup nové technologie do firmy V-Nass, a.s.

7. Závěr

Diplomová práce se zabývá návrhem nového pracoviště odjehlování v podmínkách společnosti V.Nass, a.s. Mezi hlavní cíle diplomové práce patří zefektivnění výroby, zkrácení spotřeby času a nákladů na výrobu hydraulické kostky.

Těmto cílům předcházelo rozpracování problematiky odjehlování a nekonvenční metody odjehlování, které jsou uvedeny ve druhé a třetí části diplomové práce. Tato problematika nám přibližuje posuzování konvenčních a nekonvenčních metod odjehlování a popisuje vliv různých faktorů na jakost povrchu, rychlost odjehlení.

V další části práce je zpracován rozbor stávající technologie výroby. Cílem této analýzy je objasnění strojního opracování ve formě V-Nass, a.s. Součástí rozboru je jak popis materiálu, hydraulické kostky, technologický postup výroby, používané výrobní stroje a nástroje a řezné podmínky, při kterých je výroba realizována.

Rozborem stávající technologie výroby a na základě plánovaných změn týkajících se finálního odjehlení hydraulické kostky jsou v další kapitole diplomové práce navrženy inovace pro novou technologii odjehlování. Navrhované změny se týkají jak volby nových strojů a zařízení, tak i návrhu přípravků. V návrhu je taktéž řešeno množství strojů, zařízení a přípravků. Jsou provedeny kapacitní výpočty, uvedena cenová náročnost zařízení, cenová náročnost použitého příslušenství, cenová náročnost pravidelné údržby a také jsou uvedeny bezpečnostní předpisy.

Závěrečná část diplomové práce je věnována technicko- ekonomickému zhodnocení stávající a nově navržené technologie odjehlování, z které vyplývá, že nová technologie výroby bude z ekonomického hlediska výhodnější, přičemž záleží na množství vyráběných hydraulických kostek. Na tuto skutečnost má největší vliv snížení spotřeby času výroby součásti a volba strojů, které jsou mnohonásobně produktivnější oproti stávajícímu stavu.

Závěrem děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Marku Sadílkovi, Ph.D. a konzultantovi Dipl. Ing. Jiřímu Prokopovi z firmy Prove Tech za podnětné rady a připomínky a za odborné vedení, které mi bylo jimi poskytnuto při vypracování této diplomové práce.

Seznam příloh

Příloha č.1 – Výrobní výkres hydraulické kostky č.v. V1-315-01

Příloha č. 2 – Výkres pracoviště č.v. V1-315-02

Příloha č.3 – Výkres přípravku č.v. V1-315-03

8. Použitá literatura

- [1] *Jak funguje termické odhroťování* [online]. [cit. 14. května 2012]. Dostupné na WWW: <http://www.provetech.cz/?page_id=23>
- [2] MAŇKOVÁ, I. *Progresívne technologie*. Košice: Technická univerzita Košice, Viena, 2000. ISBN 80-7099-430-4.
- [3] *Pro jaké výrobky je TEM vhodná* [online]. [cit. 14. května 2012]. Dostupné na WWW: <http://www.provetech.cz/?page_id=25>
- [4] *Termické odhroťování* [online]. [cit. 14. května 2012]. Dostupné na WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/termicke-odhrotovani-2.html>>
- [5] *Odjehlování zapomenutá operace* [online]. [cit. 14. května 2012]. Dostupné na WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/odjehlovani-zapomenuta-operace-ii.html>
- [6] *Nové směry v řezání a odjehlování materiálu* [online]. [cit. 14. května 2012]. Dostupné na WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nove-smery-v-rezani-a-odjehlovani-materialu.html>
- [7] *Nástroje na odjehlení* [online]. [cit. 14. května 2012]. Dostupné na WWW: <http://www.hhw.cz/shopHierarchie.aspx?C=1&G0=Brusn%C3%A9+n%C3%A1%C5%99ad%C3%AD>
- [8] *Odjehlování zapomenutá operace* [online]. [cit. 14. května 2012]. Dostupné na WWW: <http://www.mmspektrum.com/clanek/odjehlovani-otvoru-zapomenuta-operace.html>
- [9] *Ruční škrabák* [online]. [cit. 14. května 2012]. Dostupné na WWW: <http://www.vltava2009.cz/diyeshop/goods-200320232-61-otocny-skrabak-noga-3-ng1003.html>
- [10] *Technické frézy* [online]. [cit. 14. května 2012]. Dostupné na WWW: http://www.dupr.cz/pdf/Jadrove_vrtaky.pdf
- [11] *Vzduchové stopkové frézy* [online]. [cit. 14. května 2012]. Dostupné na WWW: <http://www.rucni-naradi.cz/schneider-hw-700-sys>
- [12] *Materiál AISI 316L* [online]. [cit. 14. května 2012]. Dostupné na WWW: http://www.nikhef.nl/pub/departments/mt/projects/lhcb-vertex/calculations/VESSEL/NIKHEF_316L_version3.pdf
- [13] *Univerzální fréžka* [online]. [cit. 14. května 2012]. Dostupné na WWW: http://www.google.cz/imgres?q=fgs+25/32&hl=cs&gbv=2&biw=1152&bih=689&tbn=isch&tbnid=3M0WoFNUZG38VM:&imgrefurl=http://www.klemenko.cz/zarizeni.html&docid=KIY-tbQOXSn8xM&imgurl=http://www.klemenko.cz/foto/stroje/frezky/DSC01941.JPG&w=640&h=480&ei=B123T_fgFZO6hAe8wNyyCw&zoom=1&iact=hc&vpx=852&vpy=44&dur=2004&hovh=194&hovw=259&tx=175&ty=113&sig=105130216409683388810&sqi=2&page=1&tbnh=151&tbnw=193&start=0&ndsp=15&ved=1t:429,r:4,s:0,i:77

[14] *CNC frézka H40A* [online]. [cit. 14. května 2012]. Dostupné na WWW:

[http://www.google.cz/imgres?q=tajmac+cnc+H40&um=1&hl=cs&biw=1152&bih=689&tbn=isch&tbnid=Oq-pSPHEh6nkiM:&imgrefurl=http://www.jaro-kovo.cz/cs/cnc-obrabeni/&docid=fq6hGSewFLntvM&imgurl=http://www.jaro-kovo.cz/img/cnc/TajmacH40A.jpg&w=480&h=300&ei=zGe3T_W9G9HjsAbM58y1Cw&zoom=1&iact=hc&vpx=147&vpy=168&dur=8983&hovh=177&hovw=284&tx=176&ty=115&sig=105130216409683388810&page=1&tbnh=154&tbnw=258&start=0&ndsp=12&ved=1t:429,r:0,s:0,i:68](http://www.google.cz/imgres?q=tajmac+cnc+H40&um=1&hl=cs&biw=1152&bih=689&tbn=isch&tbnid=Oq-pSPHEh6nkiM:&imgrefurl=http://www.jaro-kovo.cz/cs/cnc-
obrabeni/&docid=fq6hGSewFLntvM&imgurl=http://www.jaro-
kovo.cz/img/cnc/TajmacH40A.jpg&w=480&h=300&ei=zGe3T_W9G9HjsAbM58y1Cw&zoom=1&iact=hc&vpx=147&vpy=168&dur=8983&hovh=177&hovw=284&tx=176&ty=115&sig=105130216409683388810&page=1&tbnh=154&tbnw=258&start=0&ndsp=12&ved=1t:429,r:0,s:0,i:68)

[15] *Rovinná bruska* [online]. [cit. 14. května 2012]. Dostupné na WWW:

[http://www.google.cz/imgres?q=bruska+bph+20+na&um=1&hl=cs&biw=1152&bih=689&tbn=isch&tbnid=dWlcdWqm8SuzkM:&imgrefurl=http://www.orso-nastrojarna.cz/technologie.php&docid=HgOyaeS07wem2M&imgurl=http://www.orso-nastrojarna.cz/obrazky/bruska_rovinna_bha_20_na.jpg&w=500&h=375&ei=0Hi3T4jWEqOU4ATdy4S1Cw&zoom=1&iact=hc&vpx=641&vpy=163&dur=701&hovh=194&hovw=259&tx=105&ty=98&sig=105130216409683388810&page=1&tbnh=161&tbnw=230&start=0&ndsp=16&ved=1t:429,r:3,s:0,i:75](http://www.google.cz/imgres?q=bruska+bph+20+na&um=1&hl=cs&biw=1152&bih=689&tbn=isch&tbnid=dWlcdWqm8SuzkM:&imgrefurl=http://www.orso-
nastrojarna.cz/technologie.php&docid=HgOyaeS07wem2M&imgurl=http://www.orso-
nastrojarna.cz/obrazky/bruska_rovinna_bha_20_na.jpg&w=500&h=375&ei=0Hi3T4jWEqOU4ATdy4S1Cw&zoom=1&iact=hc&vpx=641&vpy=163&dur=701&hovh=194&hovw=259&tx=105&ty=98&sig=105130216409683388810&page=1&tbnh=161&tbnw=230&start=0&ndsp=16&ved=1t:429,r:3,s:0,i:75)

[16] *Brusný kotouč* [online]. [cit. 14. května 2012]. Dostupné na WWW:

http://www.carborundum.cz/pdf/TYROLIT_A4_2012_CZ_FINAL.pdf

[17] *Technické frézy* [online]. [cit. 14. května 2012]. Dostupné na WWW:

<http://www.abrasiv.cz/tvrdokovove-technicke-frezy/zakladni-tvary-technickych-frez.htm>

[18] *Prevox* [online]. [cit. 14. května 2012]. Dostupné na WWW:
http://www.henkelna.com/cps/rde/xchg/henkel_us/hs.xsl/full-product-list-7932.htm?countryCode=us&BU=industrial&parentredDotUID=productfinder&redDotUID=000000000IEV

[19] *Novaclean* [online]. [cit. 14. května 2012]. Dostupné na WWW:

http://www.henkelna.com/cps/rde/xchg/henkel_us/hs.xsl/full-product-list-7932.htm?iname=Novaclean+120LF&countryCode=us&BU=industrial&parentredDotUID=productfinder&redDotUID=000001FRT8

[20] *Boroskop* [online]. [cit. 14. května 2012]. Dostupné na WWW:

<http://www.olympus-ims.com/cs/modular-mini-scope/>

[21] *Vozík* [online]. [cit. 14. května 2012]. Dostupné na WWW:

<http://www.hhw.cz/shopDetails.aspx?C=1&Artikelnr=81707201>

[22] *Fréza* [online]. [cit. 14. května 2012]. Dostupné na WWW:

http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/pdf/metalworking_products_061/main_d_11.pdf

[23] *VBD destičky* [online]. [cit. 14. května 2012]. Dostupné na WWW:

<http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/pdf/ANIG/C-1140-529.pdf>

[24] *VBD destička* [online]. [cit. 14. května 2012]. Dostupné na WWW:

<http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/pages/productdetails.aspx?c=R390-17%2004%2008M-PM%201030>

[25] *TK vrták* [online]. [cit. 14. května 2012]. Dostupné na WWW:

<http://www.reves.sk/dokumenty/titex-vrtaky.pdf>

[26] *Dělový vrták* [online]. [cit. 14. května 2012]. Dostupné na WWW:

http://www.winter-servis.cz/index.php?page=betek/zplna_delove
